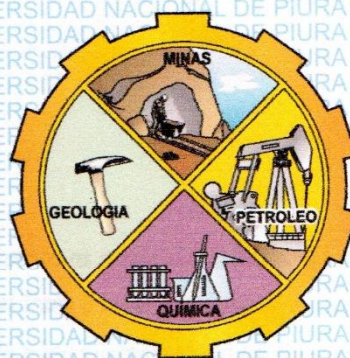


UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“MEJORAS EN EL MOTOR DE FONDO Y SU COMPARACIÓN
CON LAS OTRAS HERRAMIENTAS PARA LA DESVIACIÓN
DE LOS POZOS-PERÚ 2018”**

Presentada Por:

Br. RAMIRO ADOLFO CRIOLLO CHINCHAY

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE PETRÓLEO**

Línea de Investigación:

**Aprovechamiento y Gestión Sostenible del Ambiente
y los Recursos Naturales**

PIURA - PERÚ

AÑO 2019

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo, CRIOLLO CHINCHAY RAMIRO ADOLFO identificado con DNI 70344874, Bachiller de la escuela profesional Ingeniería de Petróleo, de la Facultad de Ingeniería de Minas y domiciliado A.H SAN SEBASTIAN MZ E7 LORE 04 del distrito VEINTISÉIS DE OCTUBRE, provincia PIURA, Departamento PIURA, Celular 979397434.

Email: adolfo.criollo@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es original e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. 32° de la Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, 22 de mayo de 2019



Ramiro Adolfo Criollo Chinchay

DNI N°: 70344874

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
Facultad de Ingeniería de Minas
Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“MEJORAS EN EL MOTOR DE FONDO Y SU COMPARACIÓN
CON LAS OTRAS HERRAMIENTAS PARA LA DESVIACIÓN
DE LOS POZOS-PERÚ 2018”**

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**

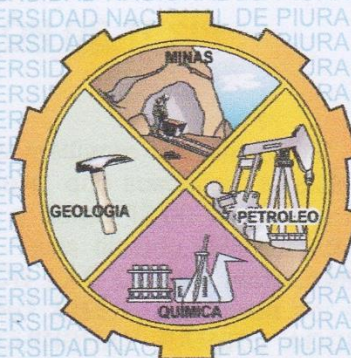
BR. RAMIRO ADOLFO CRIOLLO CHINCHAY
EJECUTOR

M.Sc. ING. JUAN C. ALIAGA RODRÍGUEZ
ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ingeniería de Minas

Escuela Profesional de Ingeniería de Petróleo



TESIS

**“MEJORAS EN EL MOTOR DE FONDO Y SU COMPARACIÓN
CON LAS OTRAS HERRAMIENTAS PARA LA DESVIACIÓN
DE LOS POZOS-PERÚ 2018”**

**PRESENTADA A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**


M.Sc. ING. PEDRO TIMANA JARAMILLO
PRESIDENTE


ING. AQUILES PORTAL TAFUR
SECRETARIO


M.Sc. ING. CARLOS RAMÍREZ CASTAÑEDA
VOCAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DECANATO

"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

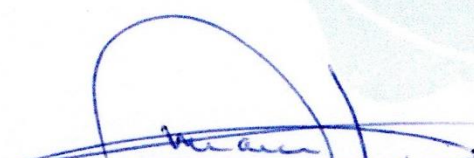
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Calificador nombrados mediante Resolución N° 514-CF-2019, de fecha cinco de junio de dos mil diecinueve, que suscriben, reunidos el día lunes veintidós de julio de dos mil diecinueve, a horas 12:00 m., en la Sala de Conferencias - FIM, para la sustentación de la Tesis titulada "**MEJORAS EN EL MOTOR DE FONDO Y SU COMPARACIÓN CON LAS OTRAS HERRAMIENTAS PARA LA DESVIACIÓN DE LOS POZOS – PERÚ 2018**", conducida por el señor Bachiller en Ingeniería de Petróleo **CRIOLLO CHINCHAY RAMIRO ADOLFO**, la misma que cuenta con el asesoramiento del Ing° **Juan C. Aliaga Rodríguez M.Sc.** Efectuadas las observaciones y dadas las respuestas, lo declaran:

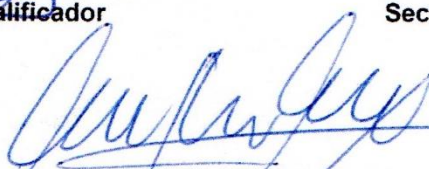
DESAPROBADO	A P R O B A D O			
	Bueno	Muy Bueno	Sobresaliente	Excelente
	-----	-----	-----	-----

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** y solicitar al Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, le otorgue el **TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE PETRÓLEO**, de conformidad con lo estipulado en las normas legales vigentes de la Universidad Nacional de Piura.

Piura, 22 de julio de 2019.


ING° PEDRO TIMANÁ JARAMILLO M.Sc.
Presidente del jurado calificador


ING° AQUILES PORTAL TAFUR
Secretario del jurado calificador


ING° CARLOS RAMÍREZ CASTAÑEDA
Vocal del Jurado Calificador.

YMN.

DEDICATORIA

A Dios y a La Virgen María Auxiliadora que guía mi vida.

A mis padres quienes han sido fundamental para mi vida, con su paciencia, esfuerzo de cada día, con su cariño han sabido guiarme y darme fuerzas para no rendirme.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen María Auxiliadora, por concederme la determinación necesaria para la obtención de este logro.

A la Universidad Nacional de Piura, por permitir mi formación como Ingeniero de Petróleo y por darme lazos de amistad únicos.

A mis padres Ramiro Criollo Tuse y Sabina Chinchay Alberca, por estar allí siempre para mí, dándome todo su cariño, atención y no dejándome rendirme en este proceso.

A mis amigos Elvis y Erick por creer en mí siempre y apoyarme en cada paso.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I: ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA.....	2
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	 4
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN	4
2.2. BASES TEÓRICAS	4
2.2.1. Definición Perforación Direccional.....	4
2.2.2. Aplicaciones de pozos direccionales	5
2.2.2.1. Sidetracking (Desviación Lateral).....	5
2.2.2.2. Localizaciones Inaccesibles (Inaccessible Locations)	6
2.2.2.3. Domo de Sal (Salt Dome Drilling).....	7
2.2.2.4. Formaciones con Fallas ((Fault Controlling)	7
2.2.2.5. Pozos de Exploración Multilaterales desde un mismo Pozo	8
2.2.2.6. Pozos de alivio (Relief Wells).....	8
2.2.2.7. Perforación de pozos Múltiples Costa Afuera (Offshore Multiwell Drilling)..	9
2.2.2.8. Pozos de Alcance Extendido (Extended Reach Wells)	9
2.2.3. Herramientas de Medición.....	10
2.2.3.1. MVD (Measuring While Drilling: Midiendo Mientras se Perfora).....	10
2.2.3.2. LWD (Logging While Drilling: Registrando Mientras se Perfora).....	11
2.2.4. Herramientas de Desviación.....	12
2.2.4.1. Whipstocks (Cuñas desviadoras).....	12
2.2.4.2. Jet Bits (Broca de Chorros)	13
2.2.5. Motores de Fondo.....	14
2.2.6. Tipos de Motores de Fondo	14
2.2.7. Ventajas de las Operaciones de Perforación con Motores de Fondo.....	15
2.2.8. Componentes de los Motores de Fondo	15
2.2.8.1. Codo Superior (Top Sub)	16
2.2.8.2. Unidad de Poder o Sección de Potencia (Power Section)	17
2.2.8.3. Sección Ajustable (Bent Housing)	21

2.2.8.4. Sección de Transmisión (Transmission Assembly)	22
2.2.8.5. Sección de Rodamientos	23
2.2.9. Principio de Funcionamiento de la Sección de Poder	24
2.2.10. Parámetros de las Operaciones de Perforación con Motores de Fondo.....	25
2.2.10.1. Peso Aplicado Sobre la Broca (Weight On Bit, WOB)	25
2.2.10.2. Rotación de la Sarta de Perforación (Drillstring Rotation).....	25
2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS	26
2.4. HIPÓTESIS	27
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	28
3.1. ENFOQUE Y DISEÑO.....	28
3.2. FLUIDOS CIRCULANTES	28
3.2.1. Materiales para la pérdida de circulación (lost circulation materials, lcm)	29
3.2.2. Corrosión	29
3.2.3. Brocas	29
3.3. MICROESTANCAMIENTO DEL MOTOR (MICRO – STALLING)	30
3.4. ESTANCAMIENTO DEL MOTOR CON BOQUILLA DE CHORRO EN EL ROTOR	30
3.5. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO	30
3.7. TORQUE REACTIVO DEL MOTOR Y EFECTO “STICK – SLIP”	31
3.7.1. Torque Reactivo del Motor.....	31
3.8. EVOLUCIÓN DE LA HERRAMIENTA RSS	31
3.9. TECNOLOGÍA UTILIZADA POR LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN	
DIRECCIONAL RSS	31
3.9.1. Sistemas Point The Bit	31
3.9.2. Sistema Push The Bit.....	33
3.9.3. Ventajas del uso de la Tecnología RSS	35
3.10. EQUIPOS DE SUPERFICIE EN LA UTILIZACIÓN DEL RSS	36
3.10.1. Downlink Commader (DLC).....	36
3.11. GRÁFICOS DEL DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE FONDO	37
3.11.1. Uso de los Gráficos del Desempeño de los Motores de Fondo.	37
3.11.1.1. Zona de Operación Nominal (Zona Verde)	38
3.11.1.2. Zona de Transición (Zona Ámbar)	38
3.11.1.3. Zona de Estancamiento (Zona Roja)	39
3.12. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	40
3.12.1. Información Requerida para Estudio de Factibilidad de Aplicación de la Tecnología RSS	40

3.12.1.1. Historia de Perforación	40
3.12.1.2. Información necesaria para el uso de la Herramienta	40
3.12.1.3. Información Adicional	40
3.12.1.4. Pasos que Involucran la Selección del RSS	41
3.12.1.5. Método de Selección.....	41
3.12.1.6. Factores a considerar para la Selección de la Herramienta tipo RSS.....	41
3.12.1.7. Implementación.....	41
3.13. MÁXIMO DE HORAS DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES DE FONDO	42
3.14. DIAGNÓSTICO DE LOS PROBLEMAS DE OPERACIÓN DEL MOTOR Y SU REPORTE	42
3.15. ASPECTOS ÉTICOS	45
CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	46
4.1. DISCUSIÓN	46
*POZO 13058D - MIRADOR	46
*INTEROIL: RECORD DE PERFORACION – POZO 13058D - MIRADOR.....	47
4.2. RESULTADOS.....	48
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Desviación Lateral de un pozo.....	5
Figura 2.2:	Localizaciones Inaccesibles (Edificaciones).....	6
Figura 2.3:	Localizaciones Inaccesibles (Montañas).....	6
Figura 2.4:	Domos de sal (Salt Dome Drilling).....	7
Figura 2.5:	Formaciones con Fallas.....	7
Figura 2.6:	Pozos de Exploración multilaterales desde una misma Plataforma	8
Figura 2.7:	Pozos de Alivio	8
Figura 2.8:	Pozos Múltiples Costa Afuera (Offshore Multiwell Drilling)	9
Figura 2.9:	Pozos de Alcance Extendido.....	9
Figura 2.10:	LWD	11
Figura 2.11:	Herramientas de desviación	12
Figura 2.12:	Whipstocks (Cuñas Desviadoras)	13
Figura 2.13:	Desviación con Chorro.....	14
Figura 2.14:	Motor de Fondo.....	14
Figura 2.15:	Turbina de Fondo.....	15
Figura 2.16:	Componentes Típicos del Motor de Fondo.....	16
Figura 2.17:	Válvula de Descarga (Dump Valve Assembly)	16
Figura 2.18:	Power Section	18
Figura 2.19:	Geometría de la Sección de Poder	19
Figura 2.20:	Receptor del Rotor con el Lodo de Perforación.....	21
Figura 2.21:	Ajuste del Ángulo de la Cubierta Acodada (Bent Housing Adjustable) en Superficie Mediante las Herramientas Lagarto.	22
Figura 2.22:	Función Sección de Transmisión	23
Figura 2.23:	Sección de Rodamientos	24
Figura 3.1:	Sistema Point The Bit	32
Figura 3.2:	RSS – Point The Bit.....	32
Figura 3.3:	Unidad de Control	33
Figura 3.4:	Sistema Push The Bit	33
Figura 3.5:	Principales características de las herramientas tipos RSS con camisas no rotantes y rotantes, que actúan en modo estático o dinámico.	34
Figura 3.6:	Principales características de la herramienta tipo push the bit (rss) con camisas no rotativas que presentan dos configuraciones: tres pads (derecha) y cuatro pads (izquierda), que actúan en modo estático o dinámico.	34
Figura 3.7:	Componentes del sistema “Push the Bit”	35
Figura 3.8:	Sistema Rotativo Rireccional Modo Push the Bit.....	35

Figura 3.9:	Equipo de Superficie Downlink Commader	36
Figura 3.10:	Rango Óptimo de Operación en el Gráfico del Desempeño de un Motor de Fondo.....	38
Figura 3.11:	Gráfico del Desempeño de un Motor SperryDrill con OD: 8", Configuración Lobular 5:6 y Número de Etapas: 5.2.	39
Figura 3.12:	Manómetro que Indica los Rangos de Operación de la Presión Diferencial en Superficie.	40
Figura 3.13:	RSS - Ventajas y Desventajas	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1:	Límites de WOB para Motores SperryDrill.	25
Cuadro 3.1:	Observaciones del Motor en Superficie.	43
Cuadro 3.2:	Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor (Estancamiento).	44
Cuadro 3.3:	Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor (RPM).....	44
Cuadro 3.4:	Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor (FORMACIÓN).	45
Cuadro 3.5:	Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con la Temperatura del Fondo del Pozo.....	45

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO

BACH. RAMIRO ADOLFO CRIOLLO CHINCHAY

**“MEJORAS EN EL MOTOR DE FONDO Y SU COMPARACIÓN CON LAS OTRAS
HERRAMIENTAS PARA LA DESVIACIÓN DE LOS POZOS – PERÚ 2018 ”**

RESUMEN

Tesis que trata sobre Ingeniería de Perforación. Fundamentalmente se estudia el motor de fondo comparando con otras herramientas como el Whipstocks y la Broca a Chorro. El objetivo principal del presente trabajo es lograr mejor trayectoria en la perforación direccional para alcanzar los objetivos programados, reduciendo los riesgos de desviación.

Actualmente se sabe que la operación de Perforación es uno de los aspectos más importante a considerar para lograr dicho objetivo y para ello se usan herramientas como el motor de fondo las cuales tienden a fallar notablemente producto del exceso de los parámetros de operación como con la velocidad de rotación de la sarta de perforación y asimismo como el peso aplicado sobre la broca.

Para que un motor de fondo tenga un mejor desempeño se logra, principalmente, con la correcta selección del elastómero para operar bajo las condiciones del fondo del pozo y el estricto control de las operaciones de perforación con motor de fondo, manteniendo los valores de presión diferencial de operación dentro de los rangos recomendados de funcionamiento; esto permite que el motor entregue la energía necesaria a la broca para alcanzar la velocidad de penetración planificada.

PALABRAS CLAVES: Sidetrack, Dog Leg, Rotor, Estator, Densidad, Cuenca, presión diferencial.

**NATIONAL UNIVERSITY OF PIURA
FACULTY OF MINING ENGINEERING
PROFESSIONAL SCHOOL OF PETROLEUM ENGINEERING**

BACH. RAMIRO ADOLFO CRIOLLO CHINCHAY

**“IMPROVEMENTS IN DOWNHOLE MOTOR AND ITS COMPARISON WITH THE
OTHER TOOLS FOR THE DEFLECTION OF THE WELLS - PERU 2018”**

ABSTRACT

Thesis about of Drilling Engineering. Fundamentally, the downhole motor is studied in comparison with other tools such as the Whipstocks and the Jet Bits. The main objective of this work is to achieve a better trajectory in directional drilling to achieve the programmed objectives, reducing the risks of deviation.

Currently it is known that the drilling operation is one of the most important aspects to consider in order to achieve this objective and for this purpose tools such as the downhole motor are used, which tend to fail remarkably due to the excess of operating parameters such as speed of rotation of the drill string and also as the weight applied on the bit.

For a downhole motor have a better performance is achieved, mainly, with the correct selection of the elastomer to operate under the conditions of the bottom of the well and the strict control of the operations of drilling with downhole motor, maintaining the values of differential pressure of operation within the recommended ranges of operation; this allows the motor to deliver the necessary energy to the drill to reach the planned penetration speed.

KEYWORDS: Sidetrack, Dog Leg, Rotor, Stator, Density, hollow, differential pressure.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la mayoría de los pozos que se perforan a diario necesitan el uso de tecnología de perforación avanzada en vista que hoy en día se requiere de trayectorias más difíciles debido a una geología muy compleja o a locaciones de acceso difícil o con restricciones de tipo ambiental. Es por este motivo que empresas como Schlumberger poseen una amplia variedad de herramientas direccionales y de medición que permiten alcanzar la trayectoria deseada en menor tiempo y de una manera más segura combinada con la consecución de información en tiempo real de las formaciones ubicadas lo más cerca de la mecha posible en el ensamblaje de fondo, que permiten decisiones oportunas

La desviación intencional de los pozos empezó cuando los perforadores buscaban objetivos productivos inaccesibles con la perforación vertical, tales como: pozos de alivio. Inicialmente utilizaron cucharas deflectoras, cambios en el ensamblaje de fondo o aprovechando la tendencia natural de las formaciones, pero de esta manera se realizaban muchos viajes a superficie para modificar el ensamblaje de fondo.

Hoy en día se usa el motor de desplazamiento positivo (Motor de Fondo) que es la combinación de rotor/estator helicoidal para darle potencia a la broca con un codo ajustable encima de este lo cual funciona con el paso del fluido de perforación a través de esta sección generadora de potencia encargada de convertir la energía hidráulica en energía mecánica. Los motores de fondo perforan en dos modos; deslizamiento y rotación.

En el modo deslizamiento, sólo gira la broca gracias a la energía imputada por el fluido de perforación y en el modo rotación, gira toda la sarta de perforación (Bottom Hole Asamble) por la rotación que se le imprime la mesa rotaria desde la superficie.

Al no seguir correctamente las trayectorias de perforación, no se llega a la formación objetivo y se tiene que colocar tampones de cemento para corregir esta trayectoria lo que conlleva altos costos de perforación.

Esta trayectoria de perforación se ha mejorado mediante el uso de los motores de fondo a través de las herramientas de desviación (MWD) y registros eléctricos (LWD), logrando disminuir los costos de perforación y alcanzando en forma satisfactoria los objetivos programados.

CAPITULO I

ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Durante el último siglo la industria del petróleo y gas ha visto la necesidad de buscar nuevas fuentes de hidrocarburo, esto se debe a que los grandes yacimientos que tienen altos índices de producción se están agotando. Estas nuevas fuentes de hidrocarburo se encuentran en yacimientos cada vez más profundos, hostiles respecto a su ubicación, geológicamente complejos y con presiones elevadas.

La perforación direccional es la técnica para desviar un pozo a lo largo de una trayectoria planeada hasta llegar al objetivo de interés. Schlumberger ofrece estos servicios de perforación direccional y estas permiten el control de la sarta para obtener junto con las herramientas de medición el objetivo planeado.

A través de los años se ha venido presentando un sin número de problemas para alcanzar la trayectoria en los pozos direccionales creándose los DOG LEG (Pata de Perro) que dificultaban la completación de los pozos tanto en la toma de registro y bajada de casing de producción.

Los motores de fondo son herramientas utilizadas para la perforación de pozos verticales y direccionales de hidrocarburos y constituyen el último desarrollo en herramientas desviadoras.

La tecnología de los motores de fondo presenta numerosas ventajas respecto a los sistemas convencionales de perforación de pozos. Además de su gran versatilidad, los motores han permitido el avance en la tecnología de la perforación dirigida e incrementar la producción de hidrocarburos en pozos horizontales.

El uso de los motores de fondo durante las operaciones de perforación muestra muchas aplicaciones entre las que se destacan la reducción de los riesgos de pescados, la optimización de la perforación y, en consecuencia, la disminución de los costos totales de perforación.

Pregunta General:

¿Es suficiente el uso de motor de fondo para reducir los riesgos y costos operacionales en pozos dirigidos?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La justificación e importancia de esta investigación es que durante la perforación se logre una buena trayectoria que permita alcanzar los objetivos, evaluar correctamente las formaciones productivas con los registros eléctricos, baja de casing y efectuar pruebas de fondo de presión y pruebas de producción.

Con esta investigación a desarrollar nos ayudará a optimizar el tiempo de perforación alcanzando correctamente las desviaciones y de minimizar costos operacionales, generando así una perforación óptima.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Lograr mejor trayectoria en la perforación direccional para alcanzar los objetivos programados, reduciendo los riesgos de desviación.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Ventajas del Motor de Fondo con respecto a las herramientas no convencionales.
- Optimizar los problemas de desviación para alcanzar y disminuir los costos de costos de perforación en la desviación utilizando el motor de fondo.

1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrollará en los Pozos de la Región Grau, departamento de Piura, provincias de Talara, Distrito de Pariñas. El estudio tendrá una duración de aproximadamente unos 5 meses, empezando desde julio 2018 y concluyendo en noviembre 2018 y contará con una delimitación económica de S/.996.05 aproximadamente

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

Durante las operaciones de perforación de pozos de petróleo se presentan diversos problemas y circunstancias en donde se es necesario abandonar el hueco ya perforado y hacer un desvío más arriba (sidetrack). Las causas o motivos de estas operaciones pueden ser diversas, por ejemplo, el más común, cuando ocurre una pega de tubería “stuck pipe” y no ha sido posible liberarla, se decide desenroscar con explosivos mayormente arriba del punto de pega, se coloca un tapón de cemento y se realiza un desvío o sidetrack para poder seguir perforando y darle al objetivo al pozo.

Otro caso es en pozos horizontales donde se perfora un hueco piloto para determinar topes reales de formaciones y del reservorio objetivo, para después hacer un desvío más arriba y poder aterrizar justo dentro del reservorio objetivo.

En algunas ocasiones se puede realizar el desvío en hueco abierto, sin colocar ningún tapón de cemento, solo con perforación controlada, este método no es muy común. Existe también el desvío dentro de hueco entubado (casing), que por lo general se realiza cuando se quiere intervenir un pozo viejo ya perforado, o a veces, cuando ha ocurrido una pega de tubería y el punto de agarre es muy cerca del zapato del casing y no hay espacio para salir por encima en hueco abierto.

El propósito de este trabajo tiene por finalidad optimizar los procedimientos para la realización de desvío de pozos (sidetrack) ya que a lo largo de trabajos y experiencias pasadas ha habido algunos que no han sido exitosos, incurriendo en días adicionales de demora y por consiguiente gastos adicionales para la compañía operadora.

Principalmente se analizará las causas por las cuales algunos de estos trabajos no fueron exitosos, para que con estas experiencias poder establecer los procedimientos apropiados para que estas fallas no ocurran y así minimiza el riesgo de que estos trabajos no sean exitosos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Definición Perforación Direccional

La perforación direccional se realiza desde la década de 1920, cuando los perforadores se dieron cuenta que los pozos que debían ser verticales, se desviaban en direcciones no deseadas. Para enfrentar estos problemas de desviación emplearon técnicas para mantener la dirección lo más vertical posible. De esta experiencia, años más tarde se utilizaron las mismas técnicas con la intención de desviar la trayectoria del pozo de manera controlada. Siendo la perforación direccional «la ciencia que se ocupa de la desviación de un hoyo a lo largo de un rumbo planificado, hacia un objetivo subterráneo localizado a una distancia horizontal dada desde un punto directamente debajo del centro de la mesa rotatoria de un taladro de perforación».

La perforación direccional se logra siguiendo un determinado programa establecido en términos de la profundidad y ubicación relativa del objetivo, espaciamento entre pozos, facilidades de ubicación de la localización en el punto de superficie, buzamiento y espesor del objetivo a interceptar.

Un pozo direccional típico, comienza con un agujero vertical, para luego iniciar su desviación, de modo que la ubicación al fondo del pozo puede llegar a cientos o miles de pies de distancia de su punto de partida.

La perforación direccional constituyó el primer paso para el desarrollo de la técnica de la perforación horizontal. Además, con el uso de la perforación direccional, varios pozos se pueden perforar desde una misma plataforma.

Las operaciones de perforación direccional también tienen el propósito de pasar obstáculos que puede ser una herramienta atascada en el hoyo, realizar un desvío (Sidetrack) en el pozo principal, cuando las características del objetivo no resultan de interés, como también en la perforación de pozos de alivio para controlar otro pozo.

2.2.2. Aplicaciones de pozos direccionales

Para que se desarrolle una perforación direccional en un pozo, éstas pueden ser planificadas previamente o cuando hay problemas en las operaciones, lo cual se amerita un cambio de programa en la perforación.

Haciendo una comparación con los pozos verticales, los pozos direccionales producen grandes volúmenes de hidrocarburo además de disminuir el impacto ambiental ya que esta perforación no altera los ecosistemas debido a que no se instala ningún tipo de quipo en estos lugares.

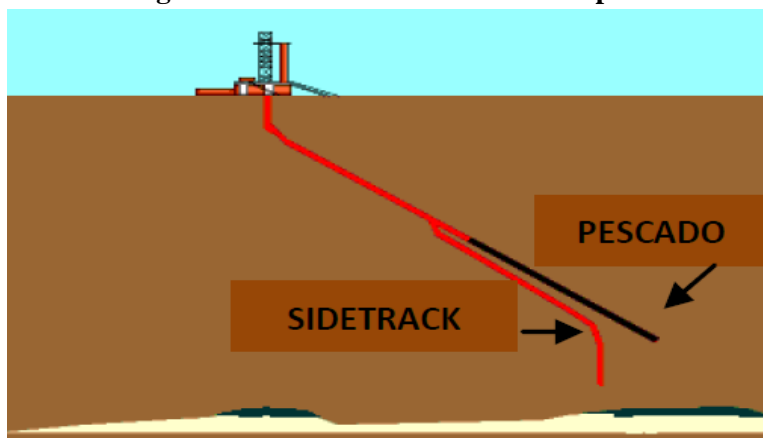
Las operaciones de perforación direccional controlada también se efectúan para franquear un obstáculo como puede ser alguna herramienta atascada en el hoyo, la realización de un desvío en el hoyo principal cuando las características del objetivo no resultan de interés y en la perforación de pozos de alivio para controlar otro pozo.

A continuación, las razones más comunes por las cuales se aplican los pozos direccionales:

2.2.2.1. Sidetracking (Desviación Lateral)

Fue la técnica original de la perforación direccional que tiene la finalidad de desviar la trayectoria normal del pozo para pasar las obstrucciones debido a un pescado (usualmente acompañado con un tapón) o a cambios inesperados de la geología y la aparición de obstáculos en el recorrido del pozo.

Figura 2.1: Desviación Lateral de un pozo

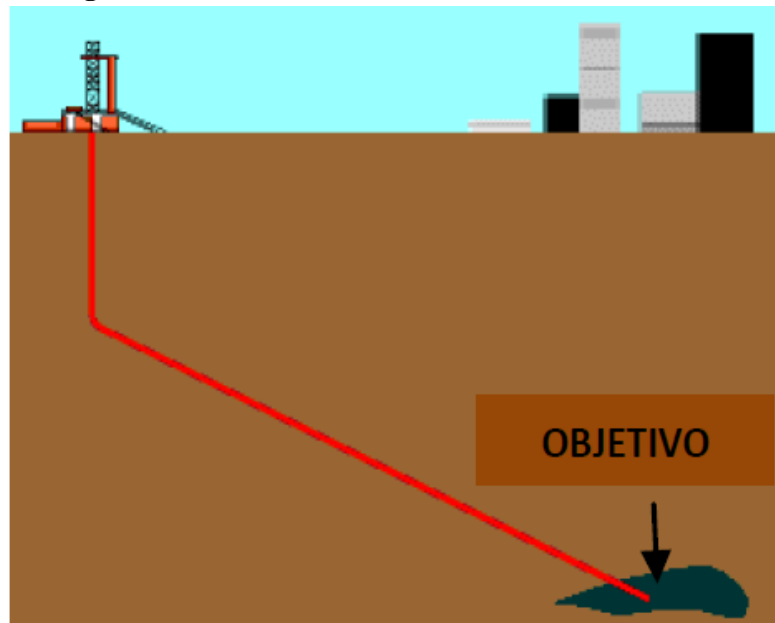


Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.2.2. Localizaciones Inaccesibles (Inaccessible Locations)

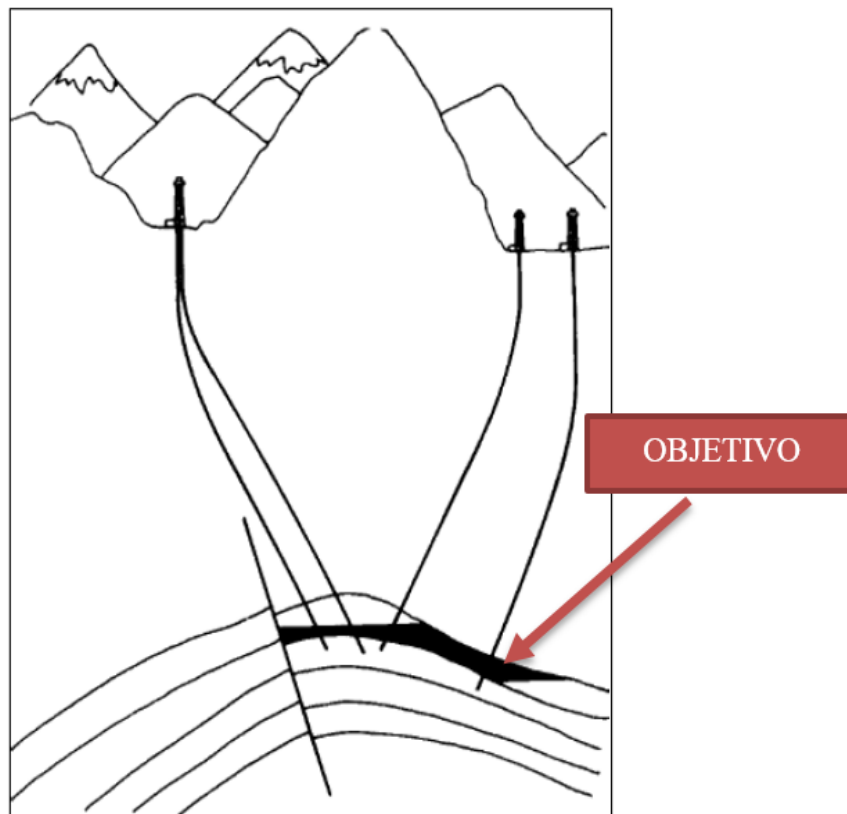
Cuando el área a perforar se encuentra bajo algún tipo de instalaciones o edificaciones (ciudades, parques, edificios) o donde el terreno por condiciones naturales (lagunas, ríos, montañas) haciendo difícil su acceso, siendo necesario ubicar la torre a cierta distancia del objetivo.

Figura 2.2: Localizaciones Inaccesibles (Edificaciones)



Fuente: Schlumberger Directional Drilling

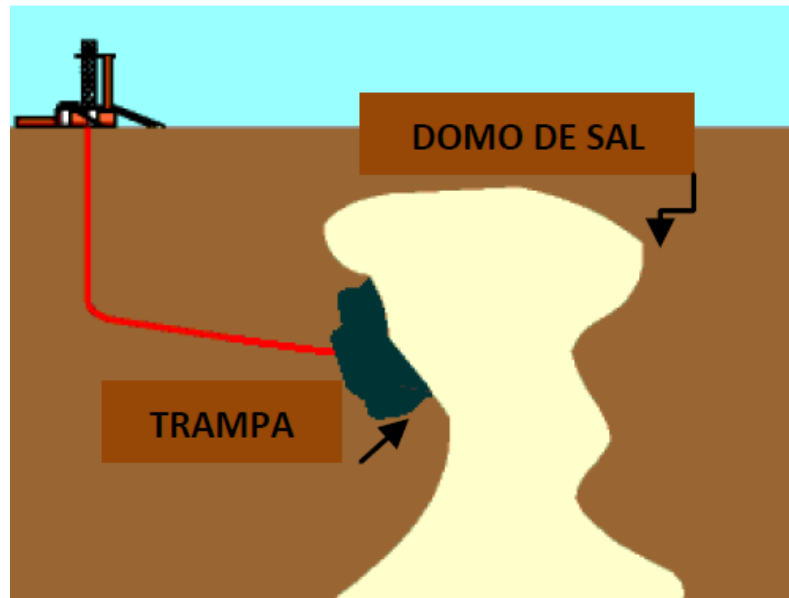
Figura 2.3: Localizaciones Inaccesibles (Montañas)



2.2.2.3. Domo de Sal (Salt Dome Drilling)

Los Domos de sal generan trampas naturales de hidrocarburo, que están localizados por debajo de estos levantamientos de sal. Perforar a través del domo de sal, aunque no imposible, incrementa la posibilidad de ciertos problemas de perforación tales como washouts, pérdida de circulación y corrosión que pueden incrementar los costos de la operación

Figura 2.4: Domos de sal (Salt Dome Drilling)

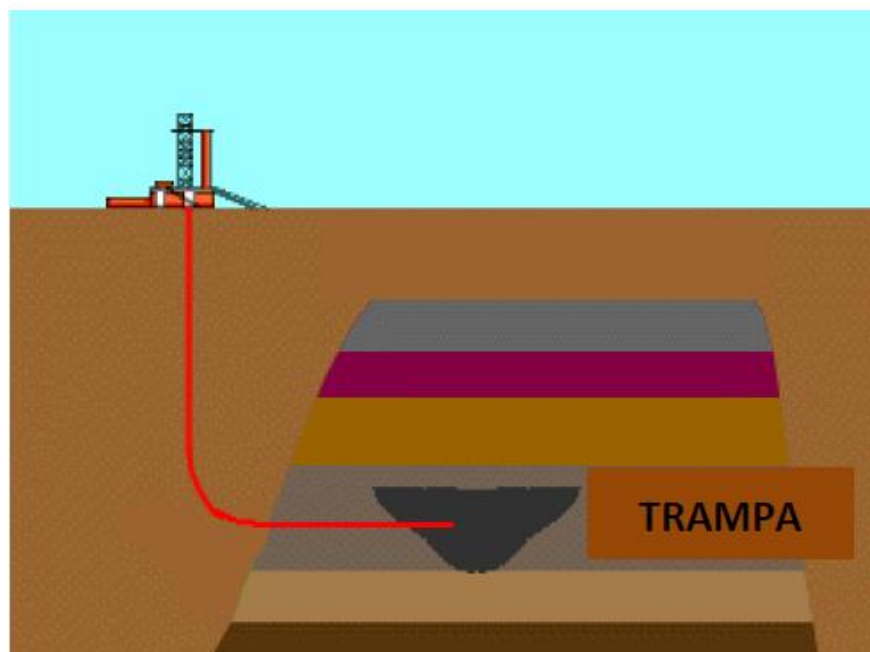


Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.2.4. Formaciones con Fallas ((Fault Controlling)

Donde el yacimiento está dividido por varias fallas que se originan durante la compactación del mismo.

Figura 2.5: Formaciones con Fallas



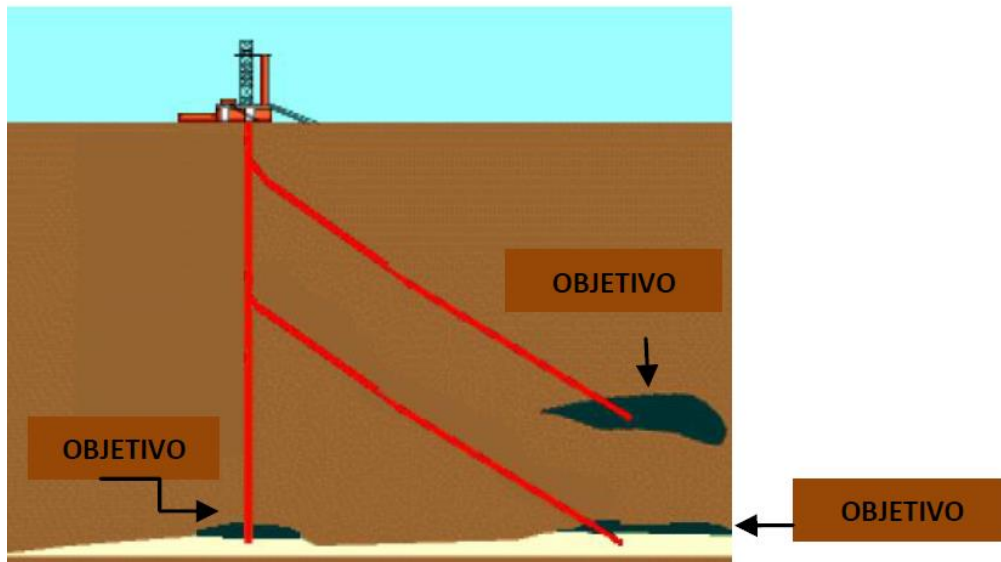
Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.2.5. Pozos de Exploración Multilaterales desde un mismo Pozo

Desde un solo agujero se usan para perforar múltiples pozos exploratorios, desviándose lejos del pozo original a cierta profundidad. Esto permite la exploración de lugares estructurales sin la necesidad de perforar otro pozo completo.

Desde una misma plataforma se pueden perforar varios pozos para reducir el costo de la construcción de plataformas individuales y minimizar los costos por instalación de facilidades de producción.

Figura 2.6: Pozos de Exploración multilaterales desde una misma Plataforma

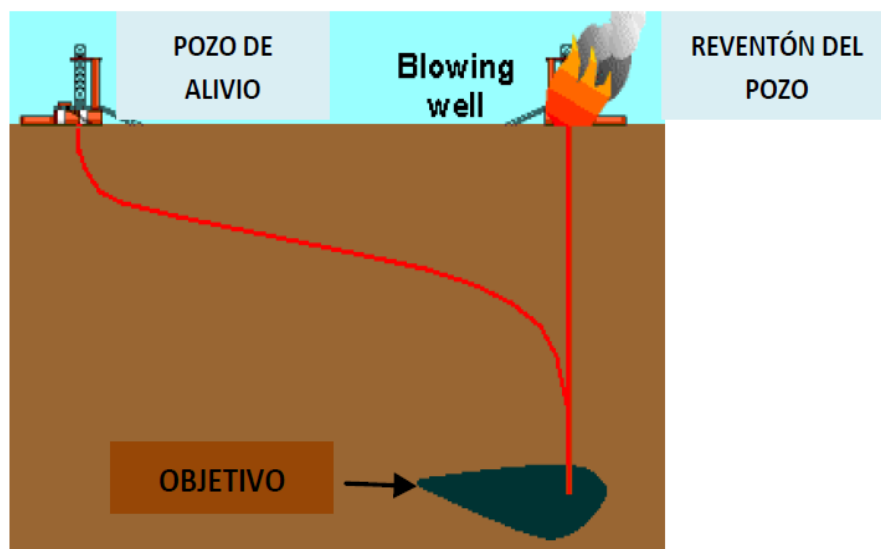


Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.2.6. Pozos de alivio (Relief Wells)

Se usan para matar o controlar pozos que están encendidos, cuidadosamente se perfora un pozo direccional con gran precisión para localizar e interceptar el pozo encendido, lodo y agua son luego bombeados dentro del pozo de alivio para matar el pozo descontrolado.

Figura 2.7: Pozos de Alivio

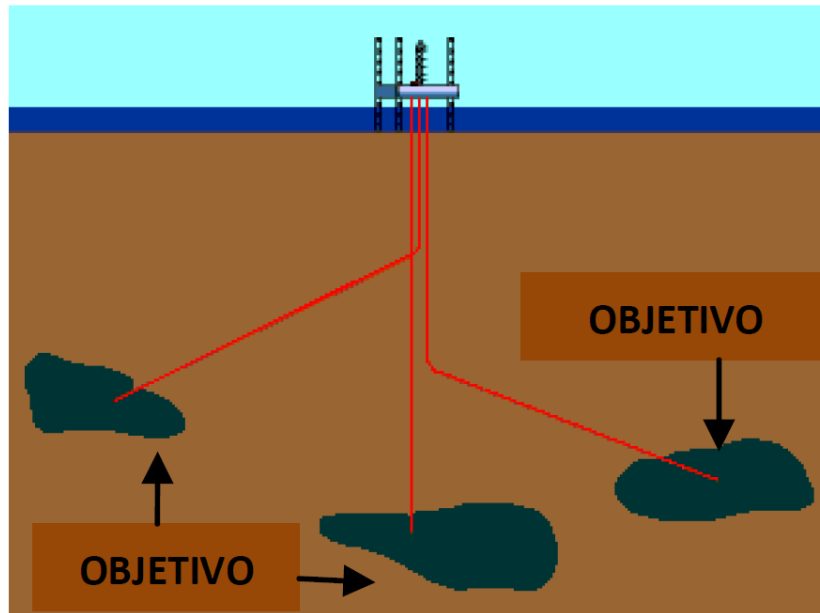


Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.2.7. Perforación de pozos Múltiples Costa Afuera (Offshore Multiwell Drilling)

El uso de esta técnica ha sido determinante en la factibilidad económica del programa de perforación direccional. Sin el uso de esta técnica controlada sería imposible desarrollar los campos off-shore económicamente. Varios pozos direccionales se perforan desde una plataforma offshore.

Figura 2.8: Pozos Múltiples Costa Afuera (Offshore Multiwell Drilling)

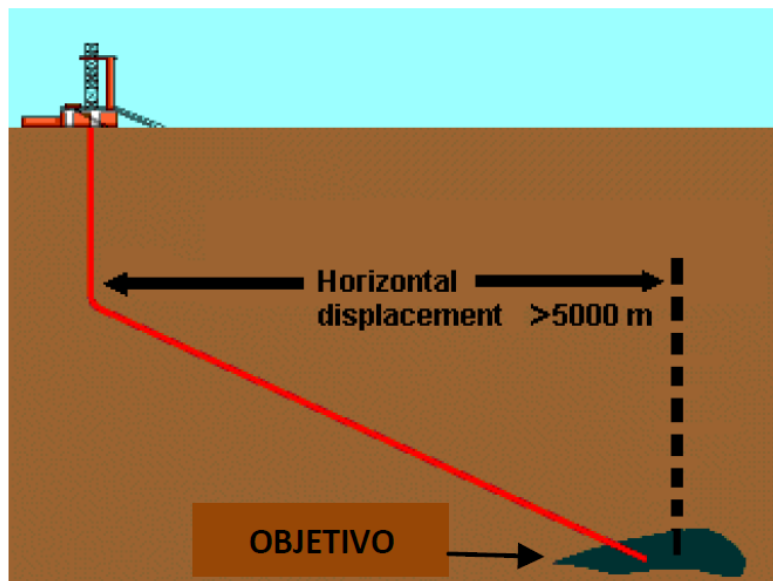


Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.2.8. Pozos de Alcance Extendido (Extended Reach Wells)

Se perforan pozos de alcance extendido para llegar a reservorios que tienen un desplazamiento horizontal demasiado largo (>5000 m).

Figura 2.9: Pozos de Alcance Extendido



Fuente: Schlumberger Directional Drilling

2.2.3. Herramientas de Medición

Cuando se perfora un pozo direccional, se deben contar con los equipos de medición para determinar correctamente la dirección e inclinación del pozo en el subsuelo. Esto se realiza principalmente para orientar de manera adecuada el equipo desviador.

Estos instrumentos ayudan a localizar las posibles “patas de perro” (doglegs) o excesivas curvaturas.

Las más usadas son las siguientes:

- a) MWD (Measuring While Drilling: Midiendo Mientras se Perfora)
- b) LWD (Logging While Drilling: Registrando Mientras se Perfora)

2.2.3.1. MWD (Measuring While Drilling: Midiendo Mientras se Perfora)

Esta herramienta está compuesta por un sistema complejo de telemetría que permite, de manera continua, conocer el lugar exacto de la trayectoria del pozo en cuanto a su inclinación y dirección. Esto se logra mediante el envío de señales utilizando para ello pulsos a través del fluido de perforación.

Las herramientas de MWD (Measuring While Drilling) suministran información en tiempo real de las medidas hechas cerca de la broca durante la perforación de un pozo como:

- Surveys que incluyen inclinación, azimuth, toolface y GR (Opcional).
- Medidas de formación como GR, Resistividad, Densidad, Porosidad (LWD).
- Información de parámetros de perforación como Peso sobre la broca y Torque en la broca (Opcional).
- Herramienta toma datos en el fondo.
- Los datos son transmitidos por el lodo.
- El equipo de superficie decodifica la información de los sensores.
- Entrega de Registros y datos direccionales al cliente

COMPONENTES DE LA HERRAMIENTA DE MWD

- Suministra la energía para que las medidas se puedan tomar (Turbina).
- Uno o más componentes que hacen la medida en fondo (Electrónica).
- Un componente para producir y transmitir la señal de la medida a superficie (Modulador).

COMPONENTES DEL SISTEMA DE MWD

- Sensores de superficie que miden parámetros de perforación.
- Sensores para recibir la señal del MWD.
- Un computador que decodifica la información de fondo.
- Un computador que procesa, almacena y usa toda la información.

FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA DE MWD

- Los sensores adquieren los pulsos de presión generados por la herramienta en fondo y los convierten en señales eléctricas.
- Los computadores de superficie decodifican las señales eléctricas y las convierten de información digital en valores de ingeniería y datos Direccionales.
- Esta información es enviada a los direccionales para efectos de navegación y al Cliente para efectos de toma de decisiones críticas.

2.2.3.2. LWD (Logging While Drilling: Registrando Mientras se Perfora)

Esta herramienta permite registrar cada una de las profundidades y obtener datos para cada una de ellas. Este es un servicio primordial que permite obtener información en tiempo real de la litología y fluidos presentes mientras se está perforando. Esto permite el estudio de las características geológicas presentes y conllevará a la toma de decisiones, sobre todo a la hora de fijar los topes y bases de cada una de las formaciones, marcadores y arenas.

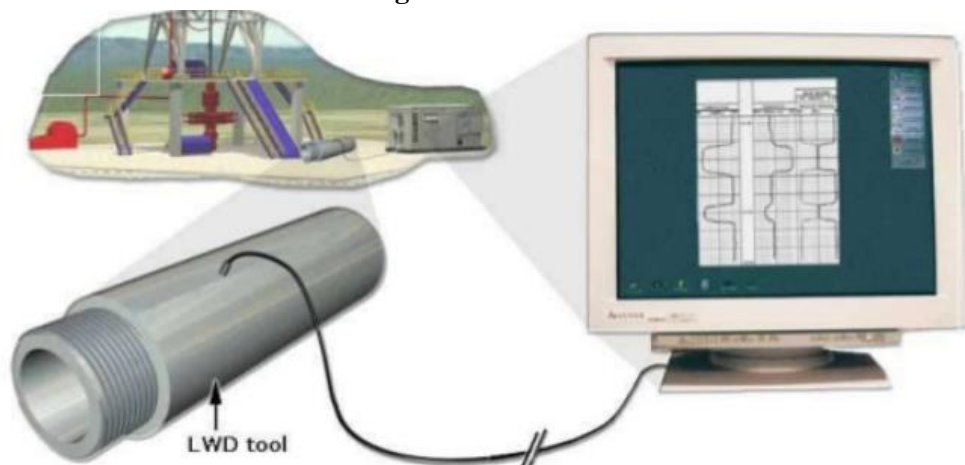
Estos sistemas de registros permiten la medición de la Resistividad, Registros de Densidad – Neutrón y los Rayos Gamma.

Durante la perforación, el uso de los datos del LWD (Logging While Drilling) permite tomar decisiones acertadas y rápidas acerca de la perforación direccional y además de prevención de peligros.

Después de la perforación junto con los datos del LWD (Logging While Drilling) nos permite evaluar la información y tomar decisiones financieras tales como producir el pozo, abandonar el pozo o incluso perforar más pozos en la misma área.

Los datos del LWD son también almacenados en memoria y procesador en superficie mostrando registros con mayor densidad de información, más variables y sin interferencias posibles propias de la transmisión en tiempo real

Figura 2.10: LWD



Las herramientas MWD y LWD proporcionan información mecánica sobre la sarta de perforación como lo son Torque, Tasa de Penetración, Peso sobre la Mecha y Dirección de la misma, que pueden contribuir a una mejor interpretación de las condiciones de operación, también en tiempo real

Los equipos MWD y LWD se instalan en portamechas especialmente diseñadas para contener el conjunto de sensores y material electrónico. Éstos se ubican lo más cerca posible de la Broca (evitando interferencias) para hacer más eficientes las mediciones. Las señales son transmitidas a la superficie a través de pulsos electrónicos que viajan en el fluido de perforación y son descodificados por un equipo receptor instalado en la superficie.

2.2.4. Herramientas de Desviación

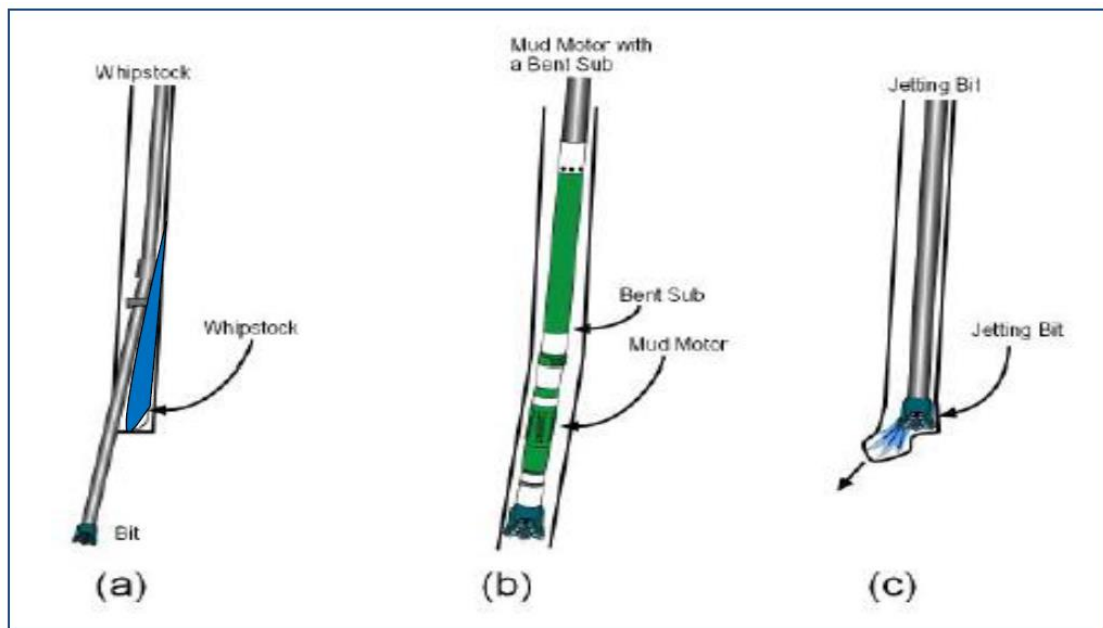
Un primer requerimiento para que la perforación direccional sea exitosa es importante disponer de las herramientas y/o equipos apropiados para la desviación, ya que estos facilitan las operaciones si se trata de realizar una corrección en la trayectoria durante la construcción de un pozo.

Las herramientas desviadoras son el medio para iniciar o corregir la desviación de la trayectoria del pozo. Conforme la perforación direccional evolucionó, las herramientas desviadoras han sufrido cambios considerables en su diseño, provocando que en la actualidad no se utilicen algunas de las herramientas usadas en los orígenes de esta técnica de perforación. Tal es el caso de los Whipstocks (Cuñas desviadoras), de los Jet Bits (Broca de Chorros), entre otras, predominando en la actualidad el uso de motores de fondo dirigibles o geonavegables en la perforación de pozos direccionales

Las herramientas de desviación pueden ser divididos dentro de tres categorías que incluyen:

- a) Whipstocks (Cuñas desviadoras)
- b) Motores de Fondo
- c) Jet Bits (Broca de Chorros)

Figura 2.11: Herramientas de desviación



2.2.4.1. Whipstocks (Cuñas desviadoras)

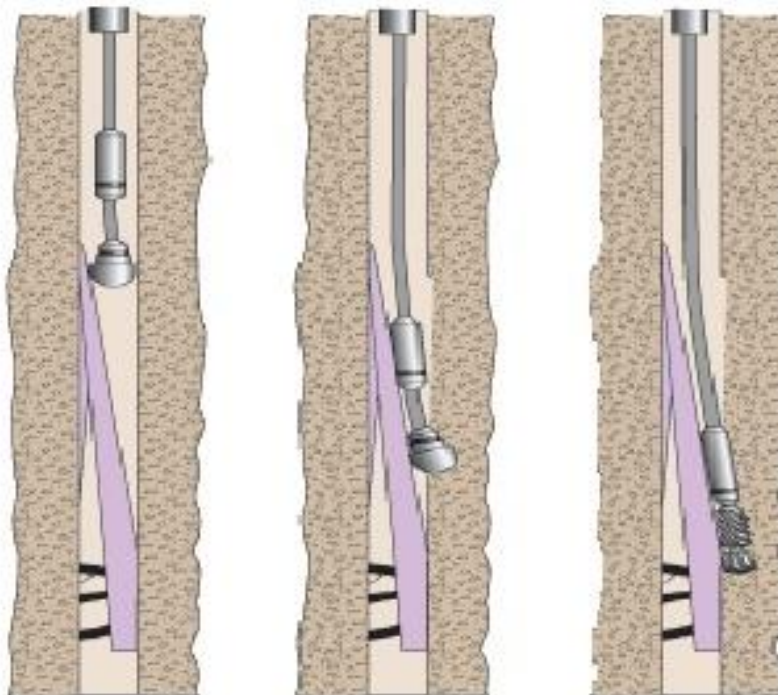
Los Whipstock son las primeras herramientas de desviación que se usaban extensamente para cambiar la trayectoria del pozo. El Whipstock (Cuñas desviadoras) es una cuña inclinada que se coloca en un pozo para forzar a la broca a comenzar la perforación, alejándose del eje del pozo. Dicha cuña debe tener superficies de acero duro para que la broca perfora preferentemente a través de la tubería de revestimiento o la roca, en lugar de hacerlo por la cuña de desviación en sí.

Cada Whipstock es seleccionado de acuerdo a la necesidad operativa para efectuar la desviación deseada. Las cuñas desviadoras pueden orientarse en una dirección en particular o colocarse en el pozo a ciegas, sin importar la dirección a la que apuntan.

La mayoría de las cuñas de desviación se asientan en el fondo del pozo o sobre un tapón de cemento de alta resistencia, pero algunas se asientan en el agujero descubierto.

La primitiva tecnología de perforación direccional empleaba este tipo de herramientas para provocar la deflexión de la broca. Este método ofrece un control limitado y con demasiada frecuencia se produce la pérdida de los objetivos del subsuelo.

Figura 2.12: Whipstocks (Cuñas Desviadoras)



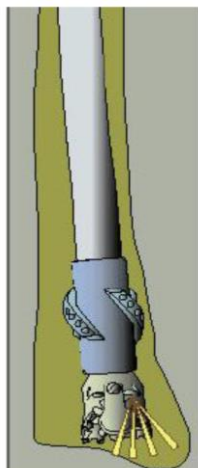
Fuente: Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería de Petróleo.

2.2.4.2. Jet Bits (Broca de Chorros)

En perforación direccional suelen usarse brocas de tamaño convencional con uno o dos jets de mayor diámetro que el tercero, o dos jets ciegos y uno especial, a través del cual sale el fluido a altas velocidades y la fuerza hidráulica generada erosiona una cavidad en la formación, lo que permite a la broca dirigirse en esta dirección y el pozo se desvíe de la vertical. Este método se utiliza normalmente en formaciones blandas y semiblandas (se lo conoce como desviación con chorro o jetting), aunque con resultados erráticos y generando patas de perro severas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Si la geología es apropiada, los chorros son más económicos que bajar un motor de fondo. • Ligeros cambios en la trayectoria pueden ser hechos después que la original trayectoria ha sido establecida. • No haya torque reactivo, el tool face puede ser orientado más exactamente que usando un motor de fondo, esto es importante cuando se tienen pozos cercanos. 	<ul style="list-style-type: none"> • El principal problema con la desviación con chorros es que algunas veces los doglegs pueden ocurrir en secciones cortas del pozo. • La severidad de dogleg en esta parte del hueco puede ser más grande que el calculado de los registros.

Figura 2.13: Desviación con Chorro



Fuente: Universidad de Oriente. Escuela de Ingeniería de Petróleo.

2.2.5. Motores de Fondo

Los motores de fondo (Down Hole Motors, DHM) llamados también motores de desplazamiento positivo (Positive Displacement Motors, PDM) forman parte del desarrollo en herramientas desviadoras.

Son herramientas versátiles utilizadas para la perforación de pozos verticales y direccionales de hidrocarburos, que convierten la energía hidráulica del flujo del fluido de perforación en energía mecánica que se traduce en torque y potencia para impulsar la broca sin la necesidad de transmitir esta rotación desde la superficie; es decir, se elimina la rotación de la sarta de perforación y se incrementan las revoluciones por minuto (RPM) de la broca.

Los motores de fondo ofrecen la opción de perforación ya sea en el modo rotacional o en el modo de deslizamiento.

Es necesario recalcar que el motor de fondo no realiza la desviación por sí solo, requiere del empleo de un bent sub (codo desviador) o bent housing (cubierta acodada del motor). El ángulo del codo es el que determina la severidad en el cambio de ángulo.

2.2.6. Tipos de Motores de Fondo

Los motores de fondo son potenciados por el flujo del lodo de perforación.

1. Motores de Desplazamiento Positivo (Positive Displacement Motors, PDM)

El primer motor de fondo usado en los campos petroleros fue el Dinadrill que poseía una configuración lobular 1:2.

Figura 2.14: Motor de Fondo



Fuente: National Oilwell Varco (NOV)

2. Turbina de Fondo

Es una unidad multietapas de álabes, la cual se utiliza para incrementar la velocidad de rotación a nivel de la broca; demuestra ser muy eficiente y confiable, especialmente en formaciones duras.

Estas turbinas son, básicamente, bombas centrífugas o axiales que fueron ampliamente usadas hace algunos años atrás. Sin embargo, las mejoras en los diseños de las brocas y los PDM han hecho que hoy en día las turbinas sólo sean usadas en aplicaciones especiales.

Figura 2.15: Turbina de Fondo



Fuente: Schlumberger

2.2.7. Ventajas de las Operaciones de Perforación con Motores de Fondo

La tecnología de los motores de fondo presenta numerosas ventajas respecto a los sistemas convencionales de perforación de pozos. Además de su gran versatilidad, los motores han permitido el avance en la tecnología de la perforación dirigida e incrementa la producción de hidrocarburos en pozos horizontales.

La esencia de perforar con un motor de fondo es la aplicación de parámetros en superficie para mantener una consistente y óptima carga rotacional y torsional en la broca de manera que se asegura la acción de corte de la formación gracias a la broca.

Además, entre otras principales ventajas proporcionadas por el empleo de los motores de fondo, se pueden mencionar:

- Proporcionan un mejor control de la desviación.
- Existe la posibilidad de desviar la perforación en cualquier punto de la trayectoria del pozo.
- Ayudan a reducir la fatiga, el desgaste y la vibración de la tubería de perforación.
- Proporcionan mayor velocidad de rotación en la barrena.

Analizando las ventajas anteriores se puede concluir que el uso de los motores de fondo reduce los riesgos de pescados, hace óptima la perforación y, en consecuencia, disminuye los costos totales de las operaciones de perforación.

Cabe aclarar que el motor de fondo no realiza la desviación por sí solo, requiere del empleo de un codo desviador (bent housing). El ángulo del codo es el que determina la severidad en el cambio de ángulo.

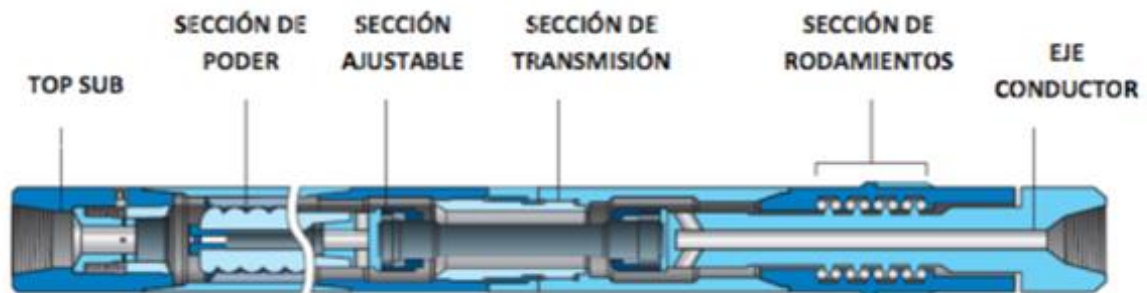
2.2.8. Componentes de los Motores de Fondo

Todos los motores de fondo constan básicamente de los siguientes elementos:

1. Top Sub.
2. Sección de Poder o Potencia (Power Section).
3. Sección Ajustable (Bent Housing).

4. Sección de Transmisión (Transmission Assembly).
5. Sección de Rodamientos

Figura 2.16: Componentes Típicos del Motor de Fondo



Fuente: Schlumberger Steerable Motor Handbook

2.2.8.1. Codo Superior (Top Sub)

El codo superior de un motor de fondo presenta una gran variedad de dispositivos para una amplia gama de aplicaciones dependiendo de las necesidades de operación. Pueden ser un crossover sub, un dump valve, un float sub o un flex sub.

a. Crossover Sub:

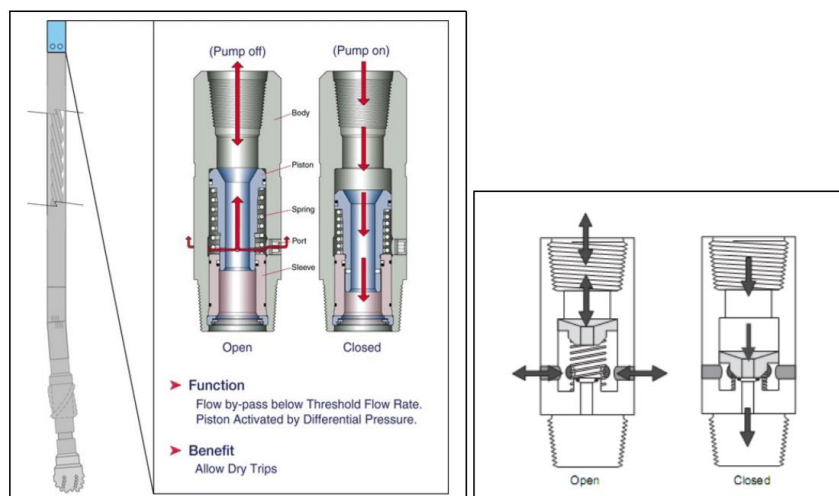
El crossover es un codo que tiene una caja (box) roscada convencional y un pin roscado para acoplarse con el motor. Un crossover se utiliza como top sub en la mayoría de las operaciones. Los demás tipos de codos superiores se los utiliza cuando sean necesarios.

b. Válvula de Descarga (Dump Valve)

Esta herramienta puede ser añadida en la parte superior de la sección de poder de los motores de fondo.

Permite que la sarta de perforación se llene con lodo durante los viajes dentro del pozo (tripping into the hole) y se vacíe mientras se realiza alguna conexión o se saca la tubería fuera del pozo (pulling out), evitando el influjo del pozo por el interior de la herramienta y permitiendo que en los viajes la tubería salga seca.

Figura 2.17: Válvula de Descarga (Dump Valve Assembly)



Fuente: Schlumberger Steerable Motor Handbook

c. Codo Flotante (Float Sub)

Estos codos incorporan válvulas flotantes (float valves) disponibles comercialmente. Estas válvulas se colocan en la parte superior del motor para evitar una posible incrustación de sólidos en el motor y en la broca. Se recomienda el uso de estas válvulas cuando se perfora formaciones no consolidadas, en perforación de bajo balance o cuando se muele acero. Si no se dispone de una válvula flotante, el fluido debe ser sustituido periódicamente mientras se realizan viajes dentro del pozo.

Estos codos también funcionan como crossovers o uniones entre las rocas convencionales API y las conexiones de los motores.

d. Codo Flexible (Flex Sub)

Un flex sub se puede utilizar como top sub de un motor. Éste actúa como un crossover sub, y puede incluir una válvula flotante. Estos codos deben ser utilizados en pozos que tienen una alta severidad de pata de perro (DogLeg Severity, DLS), es decir, más de 12° por cada 100 pies, dependiendo de la herramienta y del diámetro del pozo.

e. Filtros del Drill Pipe (Drill Pipe Filters)

Una herramienta opcional de gran importancia son los filtros. Estas herramientas se utilizan para minimizar el riesgo de daños del motor y sus componentes debido a sólidos u objetos extraños en el fluido circulante. Se recomienda que estos filtros se utilicen durante todas las operaciones del motor; esto incluye operaciones de viajes dentro del pozo (tripping in hole).

Cualquier sólido u objeto extraño deben ser observados y tomar las medidas correctivas necesarias.

2.2.8.2. Unidad de Poder o Sección de Potencia (Power Section)

En esta sección, la energía hidráulica generada por el fluido de perforación bombeado desde superficie a alta presión, se convierte en energía mecánica (torsión y rotación), la cual es transferida a la broca.

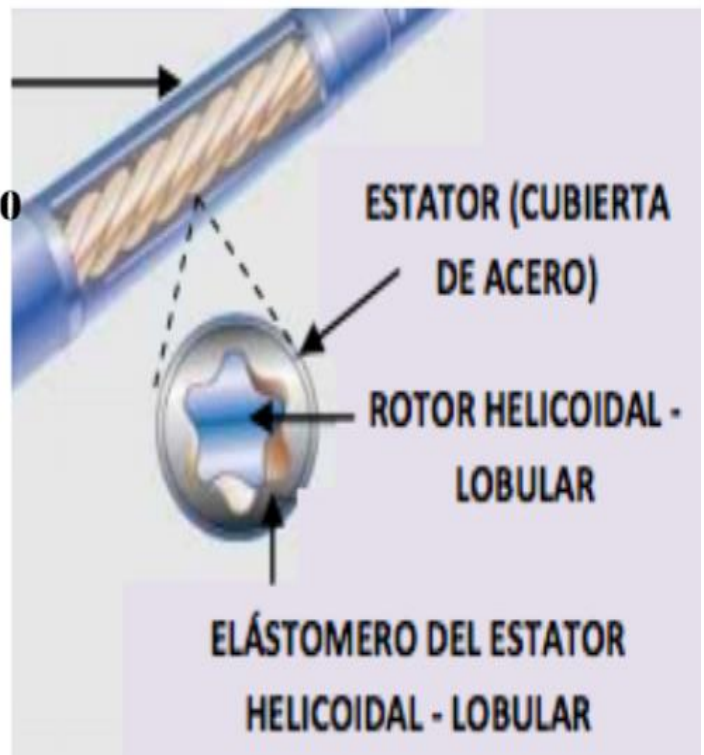
La unidad de poder consiste de un estator y de un rotor.

El estator está fijo en relación a la tubería, es una cavidad hueca construida de acero en su parte exterior (stator housing steel) y en su parte interior se aloja un elastómero. El rotor es un vástago de acero cromado en forma de hélice.

Tanto el elastómero como el rotor tienen un perfil helicoidal – lobulado similar, con la diferencia que el elastómero del estator tiene un lóbulo más que el rotor. De manera que, cuando el par rotor/estator es ensamblado, una serie de cámaras o cavidades se forman a lo largo de la curva helicoidal de la sección de poder por donde se bombea el fluido de perforación, produciéndose una caída de presión conocida como Diferencial de Presión de Operación, y generando así torsión y rotación para la broca.

Figura 2.18: Power Section

Consta de una cavidad con hélices que convierten el flujo del lodo en rotación para la barrena.



Fuente: Schlumberger Steerable Motor Handbook

a. Configuración de la Sección de Poder

El torque y la velocidad de rotación (revoluciones por minuto, RPM) que puede generar un motor de fondo, están determinadas por la configuración de la sección de poder.

i. Diámetro del Motor (Motor Size)

Los motores de fondo están disponibles en diversos diámetros que van desde 1¾ a 11¼ pulgadas de diámetro externo (outer diameter, OD) con un amplio rango de características operacionales de entrada y de salida o resultantes (Input/Output).

ii. Rotor

El rotor está fabricado con un alto grado de aleación de acero inoxidable resistente a la corrosión. El rotor generalmente tiene un recubrimiento de cromo para resistir el desgaste y la corrosión.

Rotores recubiertos de carburo de tungsteno también son utilizados para reducir el desgaste por abrasión y los daños por corrosión.

Debido a la naturaleza compleja de las interacciones químicas de los lodos de perforación con los revestimientos del rotor en el fondo del pozo a elevadas temperaturas, no es posible proporcionar una guía definitiva para la selección de recubrimientos del rotor.

Históricamente, el contenido de cloruro en el lodo en partes por millón (ppm), ha sido utilizado como un indicador de la tendencia a la corrosión para un lodo de perforación en particular.

La mayoría de los rotores están diseñados para poder ser equipados con boquillas de chorro para aplicaciones que requieran de un alto flujo de fluido. Sin embargo, esto no es posible en motores con tamaños muy pequeños y en aplicaciones especiales.

iii. Elastómero del Estator

El estator es una tubería de acero con tratamiento térmico, moldeada en su parte interior con una línea elastomérica en forma de hélice o espiral. Esta línea elastomérica se formula específicamente para resistir la abrasión y el deterioro por parte de los hidrocarburos.

iv. Desempeño Típico de la Sección de Poder

Dentro de los rangos de funcionamiento de un motor, se tiene lo siguiente:

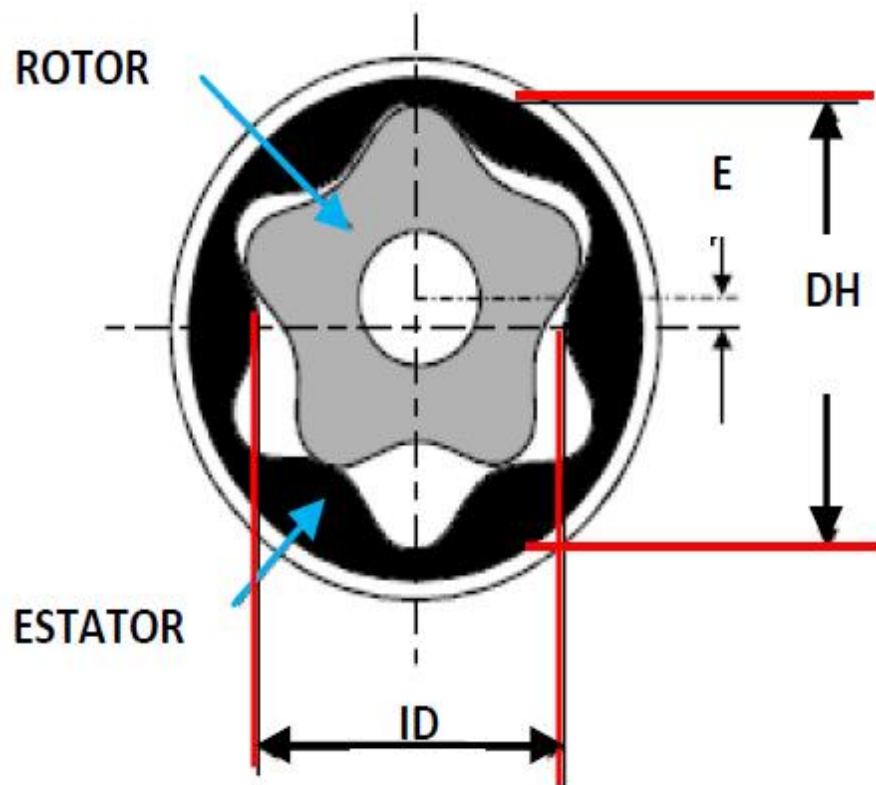
- La potencia desarrollada por el par rotor/estator es directamente proporcional a la velocidad de rotación y al torque.
- La velocidad de rotación de la broca es directamente proporcional a la rata de flujo del fluido circulante entre el rotor y el estator.
- El torque resultante de un motor es directamente proporcional al diferencial de presión desarrollado entre el par rotor/estator.

v. Geometría de la Sección de Poder

La geometría de la unidad de poder está definida por:

- El diámetro mayor del estator DH (diámetro interno del estator).
- El diámetro menor del estator ID (diámetro interno del estator con el inserto del elastómero helicoidal medido de pico a pico).
- La excentricidad del rotor.
- La longitud de la etapa.
- El número de lóbulos

Figura 2.19: Geometría de la Sección de Poder



Fuente: Baker Hughes Motor Handbook

vi. Caída de Presión por Etapa

La presión desarrollada dentro de la sección de poder depende básicamente de dos factores:

- Número de líneas de sello (etapas).
- Ajuste de Interferencia o compresión entre rotor y estator.

La cantidad de veces que la línea de sellos se repite, define el número de etapas de la sección de poder.

Cada etapa (número de vueltas de la espiral) está diseñada para soportar una determinada presión diferencial, por tanto, a mayor número de etapas, mayor es la capacidad para vencer un diferencial de presión.

b. Características de Entrada y Resultantes (Input/Output) de la Sección de Poder de los Motores de Fondo

Los motores de fondo se clasifican principalmente por la velocidad y potencia (torque) resultantes, los mismos que se están relacionados con:

- La configuración de lóbulos del rotor y del estator.
- Longitud de la sección de poder (etapas).
- La geometría del lóbulo.
- Las propiedades de los materiales del rotor y del estator.
- El ajuste de compresión.
- Las propiedades lubricantes de fluido de perforación.

Estos puntos se ven afectados por los efectos de la temperatura del fondo del pozo.

i. Rata de Flujo del Fluido de Perforación (GPM)

El diseño del par rotor/estator toma en cuenta los diversos parámetros del fondo del pozo que pueden estar presentes durante las operaciones de perforación, incluyendo:

- Los efectos del peso y la viscosidad de los fluidos circulantes.
- La temperatura.
- El contenido de sólidos.
- El contenido de los materiales para la pérdida de circulación (Lost Circulation Materials, LCM).
- Los componentes químicos de los fluidos de la formación y gases, sobre todo en referencia a los elastómeros.

El uso del motor de fondo requiere de una atención a la selección e hidráulica de la broca, puesto que introduce una pérdida de presión adicional al sistema hidráulico de perforación, esto se debe, primordialmente, a las pérdidas por fricción en la unidad de poder del motor y una mínima cantidad de pérdidas por fricción en los componentes internos bajo la sección de poder.

ii. Pérdidas de Presión Sin Carga, de Corrida Libre o Fuera de Pozo (“Free-Running”, “No-Load” or “Off-Bottom”)

Para el funcionamiento de un motor, la fricción entre las piezas de acoplamiento del mismo debe ser superada. Para esto se requiere que una pequeña presión sea aplicada a través del rotor y el estator. Esto se conoce como la Presión Sin Carga.

La presión sin carga es el diferencial de presión que se debe principalmente a las restricciones de flujo (pérdidas de presión por fricción) que existen en los componentes del motor como son: las cámaras progresivas de la sección de poder, el espacio entre el eje de transmisión y la cubierta ajustable, y los puertos de fluido y el orificio del eje conductor.

Estas pérdidas se cuantifican como la presión diferencial requerida para iniciar la rotación del rotor y dependen de la rata de flujo del fluido de perforación.

c. Boquilla de Chorro en el Rotor (Rotor Jet Nozzling)

Esta herramienta es usada para brindar al motor ratas de flujo de operación mayores que los estándares máximos especificados para cada modelo de motor.

Excesivas ratas de flujo reducen la eficiencia del par rotor/estator y promueven un acelerado desgaste del mismo, así como el daño en el elastómero. Por esta razón, sólo una cantidad limitada de exceso de flujo puede ser proporcionada mediante el uso de boquillas de chorro en el rotor.

La boquilla de chorro se coloca en la parte superior del rotor. El tamaño de la boquilla se selecciona cuidadosamente para aplicaciones específicas. La boquilla de chorro está dimensionada para permitir que una cantidad específica de fluido pase a través de él, a una determinada presión diferencial de operación en el par rotor/estator; esto depende del torque requerido por la broca y la velocidad de rotación.

d. Receptor del Rotor (Rotor Catcher)

El rotor de un motor puede estar configurado con un mecanismo denominado "receptor del rotor" de tal manera que, en caso de que una cubierta tubular o housing del motor esté mecánicamente sobrecargado y las cubiertas rotas, el motor completo puede ser recuperado. El receptor del rotor está diseñado para ayudar a recuperar el rotor y la sección de cojinetes en el caso de que el motor se separe en la conexión del estator.

Figura 2.20: Receptor del Rotor con el Lodo de Perforación



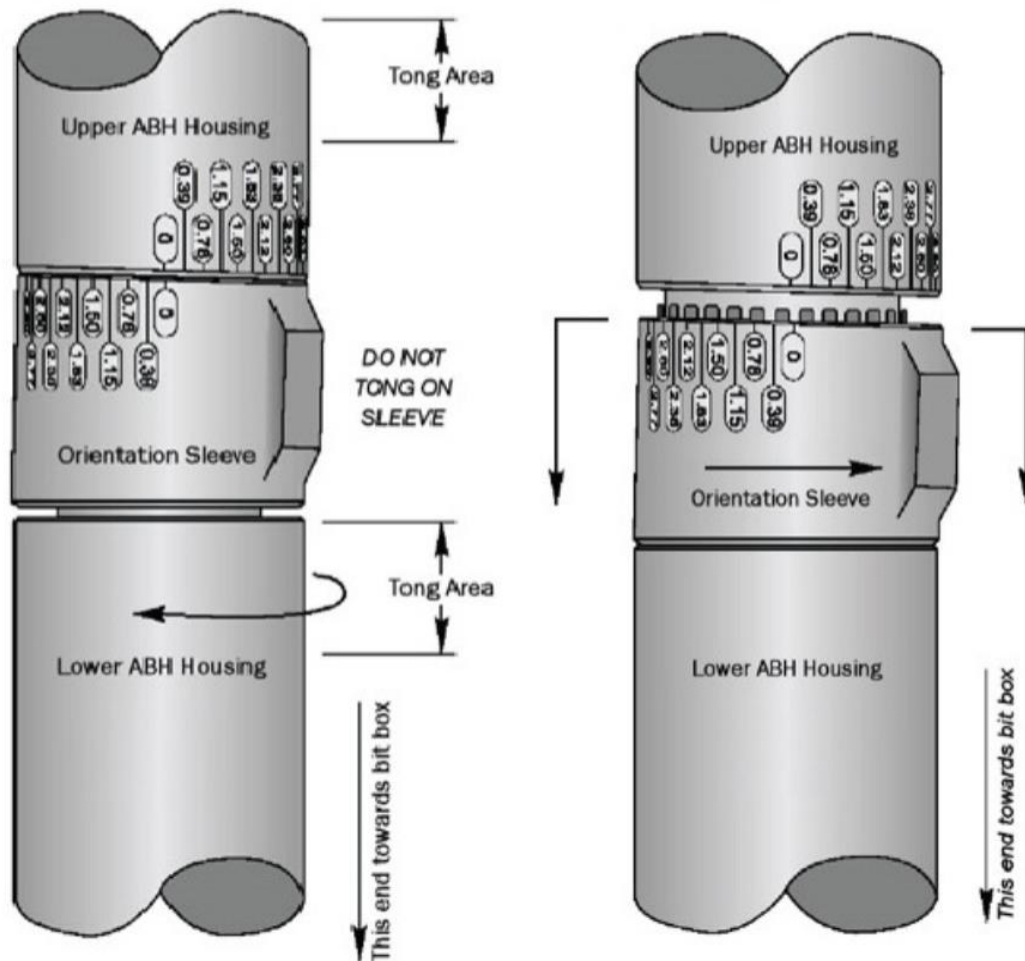
Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING

2.2.8.3. Sección Ajustable (Bent Housing)

El bent housing o cubierta acodada permite graduar la curvatura del motor de fondo para cualquier aplicación direccional deseada. Éstas sirven para desviar la perforación en un rango de curvatura que va desde 0° hasta 3° de inclinación.

El Bent housing mejora la eficiencia y el control de la perforación a través de una amplia gama de configuraciones ajustables en el sitio del pozo.

Figura 2.21: Ajuste del Ángulo de la Cubierta Acodada (Bent Housing Adjustable) en Superficie Mediante las Herramientas Lagarto.



Fuente: Schlumberger Steerable Motor Handbook.

2.2.8.4. Sección de Transmisión (Transmission Assembly)

Esta sección se encuentra localizada bajo la sección de poder, dentro de la sección ajustable (bent housing), y se mantiene unida al extremo inferior del rotor. Se encarga de transmitir la velocidad de rotación y el torque, generado por la unidad de poder, hacia el Eje Conductor y el Ensamblaje de Rodamientos, y de éstos a la broca.

a. Cubiertas Tubulares (Tubular Housings)

Las cubiertas tubulares proporcionan ubicación y protección a los componentes internos del motor, y ubicación a los bent housings y a los estabilizadores. Están diseñados para un uso confiable mientras esfuerzos dinámicos de compresión, tensión y de doblamiento actúan sobre ellos.

Igualmente, estas cubiertas deben tener un balance de rigidez y flexibilidad suficientes para funcionar efectivamente como parte del control direccional del BHA, presentando, además, una buena resistencia a la fatiga.

Las cubiertas o housings de los motores están fabricados con un alto grado de aleación de acero, los cuales son tratados con calor y templados a rigurosas especificaciones para maximizar la resistencia, minimizar el daño y prolongar la resistencia a la fatiga.

b. Roscas (Threads)

Los motores de fondo poseen diferentes conexiones roscadas. Las conexiones superiores e inferiores son generalmente roscas estándar API.

Las roscas del estator y de algunas otras partes del motor requieren un cuidado especial para asegurar una operación exitosa.

Las conexiones estándar API suelen tener la forma de la rosca tipo “V” a 60° con dientes de dos o tres pulgadas por pie.

c. Estabilizadores

Los estabilizadores están fabricados con un alto grado de aleación de acero, los cuales son tratados con calor y templados según estrictas especificaciones para obtener las mismas propiedades que las cubiertas tubulares.

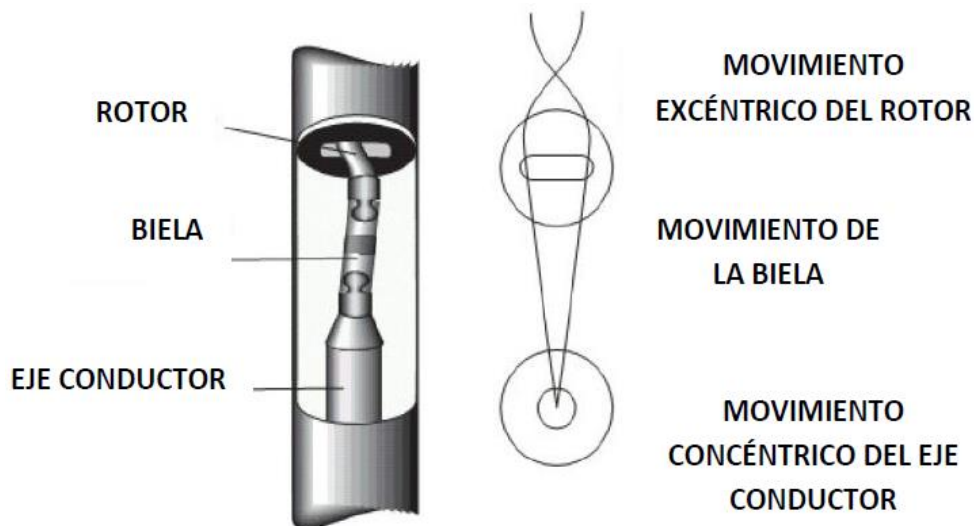
Las cuchillas (blades) pueden tener una matriz rectangular de carburo de tungsteno insertado y triturado, o pueden ser del tipo de inserción dentada de carburo de tungsteno (figura 2.27.).

El diseño del estabilizador es crítico para asegurar un buen desempeño de las operaciones de perforación con el modelo de deslizamiento y rotacional.

Las consideraciones de su diseño incluyen:

- Número de cuchillas.
- Anchura de la hoja o cuchilla (área de flujo anular).
- Profundidad de la cuchilla.
- Longitud del calibre de la hoja.
- Cobertura angular de la cuchilla.
- Tipo de conexión roscada.
- Materiales del cuerpo y de la cuchilla.
- Materiales de recubrimiento de la cuchilla.

Figura 2.22: Función Sección de Transmisión



Fuente: Schlumberger

2.2.8.5. Sección de Rodamientos

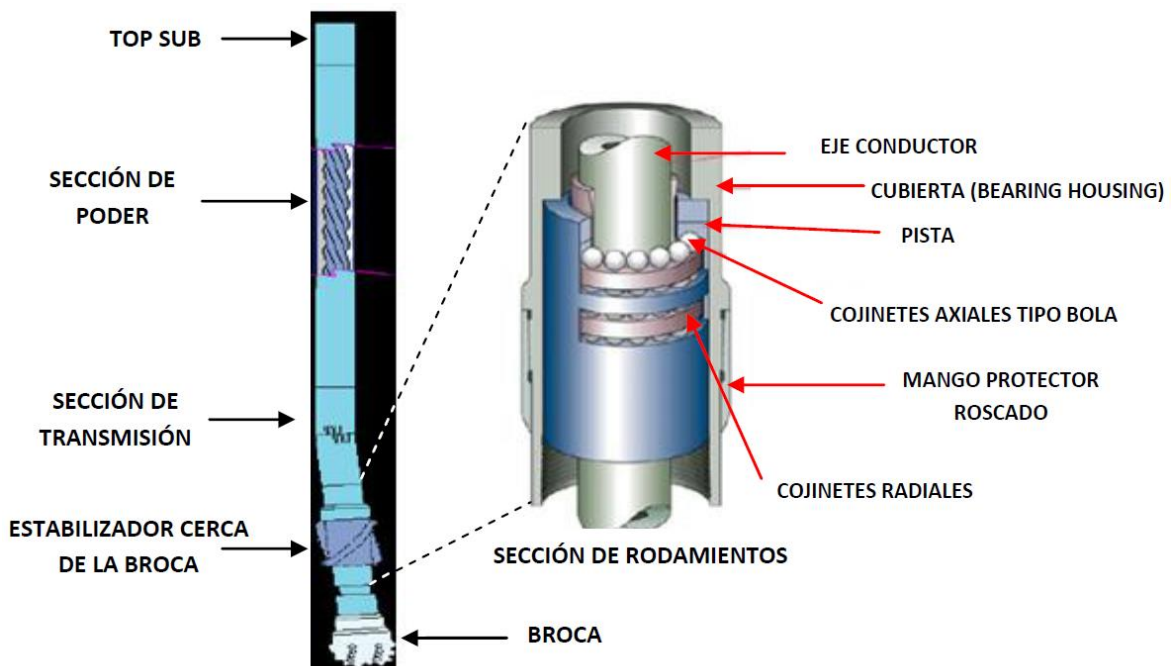
Transmite cargas axiales y radiales de la broca a la sarta de perforación, mientras que proporciona una línea de accionamiento que permite que la sección de potencia rote la broca. La sección de apoyo puede ser: sellada y lubricada por aceite o abierta y lubricada por lodo.

La vida útil de un motor depende en gran medida de la durabilidad del paquete de rodamientos.

Dichos rodamientos se encuentran sometidos a condiciones extremas de servicio dado que son lubricados por el mismo lodo de perforación, el cual resulta ser un medio corrosivo y abrasivo. Además, están sometidos a un alto nivel de vibraciones en forma continua debido a la interacción de la broca con la formación. Esta sección consta de:

- a. Conjunto de Cojinetes de Empuje (Thrust Bearing Assembly).
- b. Cojinetes Radiales (Radial Bearings).
- c. Eje Conductor (Drive Shaft).

Figura 2.23: Sección de Rodamientos



Fuente: Schlumberger Steerable Motor Handbook.

2.2.9. Principio de Funcionamiento de la Sección de Poder

1. Principio de Rene Moineau

Este principio consiste en: “El aislamiento de un volumen de fluido y su posterior desplazamiento desde una zona de succión a baja presión hacia una zona de descarga a alta presión mediante una bomba rotativa de desplazamiento positivo”.

La unidad de poder está constituida por dos piezas longitudinales en forma de hélice, una que gira en contacto permanente dentro de la otra pieza que está fija, estableciendo un engranaje helicoidal (en forma tipo espiral).

El estator está fijo en relación a la tubería y está constituida por una camisa de acero tratada al calor, revestida internamente por un inserto de elastómero que está moldeado en forma helicoidal.

El rotor metálico es la pieza interna que está fabricada de acero con perfiles de lóbulos que se asemejan y coinciden con los del estator, en una forma helicoidal; y es cromado o recubierto para la resistencia al desgaste.

El rotor y el estator tienen un diseño helicoidal – lobulado similar, con la diferencia que el estator tiene un espiral o lóbulo más que el rotor.

2.2.10. Parámetros de las Operaciones de Perforación con Motores de Fondo

2.2.10.1. Peso Aplicado Sobre la Broca (Weight On Bit, WOB)

A medida que un motor de corrida libre (free-running) es bajado al fondo del pozo y la broca se pone en contacto con la formación, se aplica peso sobre la broca y el diferencial de presión de la unidad de poder se eleva debido al torque requerido en la broca para mantener la rotación y penetrar en la formación.

La rotación de la broca es hacia a la derecha si el motor es visto desde arriba de la parte superior del motor.

Los rangos de WOB están contenidos en los listados de especificaciones que se detallan para cada motor individual.

La siguiente tabla muestra los límites de WOB para diversos tamaños de motores que poseen una sección de rodamientos lubricados con lodo de perforación.

Cuadro 2.1: Límites de WOB para Motores SperryDrill.

DIÁMETRO DEL MOTOR	WOB
(plg)	(Klbs)
11¼	115
9 5/8	90
8	80
7, 6¾, 6½	50
6¼	40
5, 4¾	25
3 5/8, 3¾, 3 3/8	14

Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING.

2.2.10.2. Rotación de la Sarta de Perforación (Drillstring Rotation)

La rotación de la sarta de perforación se puede utilizar con gran eficiencia durante la perforación con motor de fondo para optimizar los parámetros de operación tales como la tasa de penetración (ROP) y la limpieza del pozo.

Tanto la velocidad de rotación de la sarta de perforación como la velocidad rotacional resultante del motor son acumulativas de manera que la velocidad de rotación de la broca es la suma de ambas.

A medida que el motor rota dentro del pozo y está limitado por las paredes del mismo, sus componentes tales como las cubiertas tubulares y el eje conductor sufren esfuerzos que son aplicados sobre éstos.

a. Guías para la Velocidad de Rotación de la Sarta de Perforación

Tomando en consideración condiciones óptimas de perforación, velocidades de rotación de la sarta de perforación de hasta 120 rpm pueden ser aplicadas. Sin embargo, la velocidad máxima de rotación de la sarta de perforación debe ser reducida para determinadas configuraciones de

la inclinación de la cubierta acodada del motor y a determinadas condiciones de fondo. Mientras mayor sea la inclinación de la cubierta acodada del motor, más lenta debe ser la rotación. Como regla general, la velocidad de rotación de la sarta de perforación debe mantenerse tan baja como sea posible para minimizar las cargas mecánicas dinámicas del motor.

b. Carga Cíclica de los Motores

La naturaleza de la rotación de los componentes de motor, incluyendo las cubiertas durante las operaciones con rotación de la sarta, causa cargas cíclicas de los componentes del motor.

Durante las operaciones con rotación de la sarta de perforación, los niveles de esfuerzos en los componentes del BHA y del motor fluctúan en relación con la posición del componente dentro de la geometría local del pozo. Durante cada revolución de la sarta de perforación, los esfuerzos en los componentes se pueden alternar entre compresión y tensión. Cuanto mayor sea la curvatura del motor dado por la cubierta acodada, mayores serán las cargas cíclicas.

2.3. GLOSARIO DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Barrena:** Es la herramienta de corte localizada en el extremo inferior de la sarta de perforación, utilizada para cortar o triturar la información durante el proceso de la perforación rotaria.
- **Abrasivo:** Corresponde a cualquier material duro extraño que desgaste la superficie de los componentes. Cuando los abrasivos ingresan en un cojinete, pueden cortar la película de lubricación y provocar daños.
- **Buzamiento:** Es el sentido u orientación de la inclinación de los estratos en un relieve de plegamiento formado en rocas sedimentarias, que son las que se disponen en forma de capas o estratos.
- **Vástago.** Varilla o barra que transmite el movimiento a algún mecanismo.
- **Casing:** También conocida como tubería de revestimiento. Es una tubería de acero cementada que constituye uno de los componentes estructurales más importantes del pozo y cumple con distintas funciones de envergadura.
- **Sidetrack:** Son las llamadas desviación de un hoyo perforado originalmente.
- **Whipstock:** o también llamada cuchara de desviación es una cuña de acero curvada que se coloca en el pozo para comenzar la perforación de una nueva rama
- **Stuck pipe:** Suele ocurrir cuando parte de la tubería de perforación no se puede girar o mover hacia arriba o hacia abajo.
- **BHA:** Es un componente de la sarta de perforación y está integrado por el conjunto de todas las herramientas entre la broca y La tubería de perforación.
- **Dog Leg (Pata de Perro):** Es la curvatura total del pozo (la combinación de cambios en inclinación y dirección) entre dos estaciones de registros direccionales. La pata de perro se mide en grados.
- **MWD (Measurement While Drilling):** se refiere a las mediciones tomadas en el fondo del pozo con un dispositivo electromecánico ubicado en el conjunto del fondo de pozo (BHA).
- **LWD (Logging While Drilling):** Es la herramienta para la toma de registros eléctricos durante la perforación del pozo.
- **Densidad:** Es la propiedad del fluido que tiene por función principal mantener en sitio los fluidos de perforación.
- **Desviación de Pozos:** La desviación del pozo se produce cuando la dirección del pozo termina siendo diferente a la trayectoria elegida.

- **Motor de Fondo:** Herramienta para la desviación de un pozo para llegar al objetivo de la formación.
- **Yacimiento:** Unidad del subsuelo constituida por roca permeable que contiene petróleo, gas y agua, las cuales conforman un solo sistema
- **Estator:** Es un tubo de acero que contiene un inserto de hule/elastómero con un patrón lobular, helicoidal a lo largo del centro
- **Rotor:** Tubo de acero en forma lobular y helicoidal.
- **Formaciones Geológicas:** Son las formaciones (sedimentarias, metamórficas e ígneas) que se van a atravesar durante la perforación.
- **Objetivo:** Punto fijo del subsuelo en una formación que debe ser penetrado con un hoyo o pozo desviado o vertical.
- **Pozo:** Hoyo que se perfora para buscar o poner a producir hidrocarburos.
- **Rodamientos:** Son elementos mecánicos encargados de reducir la fricción entre un eje y los componentes unidos a él, soportando cargas radiales y axiales inducidas por esfuerzos del mismo corte.
- **Localización:** Ubicación geográfica de un pozo.
- **Formación:** Se refiere a estratos rocosos, homogéneos de cualquier tipo, usados particularmente para describir zonas de rocas penetradas durante la perforación
- **Fluido:** Material que ofrece poca resistencia a las fuerzas que tienden a cambiar de forma.

2.4. HIPÓTESIS

- **Hipótesis General**
El Motor de Fondo minimizará los problemas de desviación para alcanzar la trayectoria correcta de un pozo direccional.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. ENFOQUE Y DISEÑO

El tipo de enfoque en este proyecto es cualitativo y cuantitativo, debido a que cuenta con teoría que fundamenta las mejoras en el motor de fondo, y conceptos de herramientas usadas en pozos con desviación, y además muestro a detalle los costos de adquisición de estos equipos para perforar, tiempo de trabajo en los pozos para evaluar la eficiencia.

Es abierto y desestructurado, la tesis se va realizando en base a la información técnica de campo y del pozo, equipo de subsuelo como varillas, busca la profundidad de los datos, tiene carácter interpretativo y experiencial.

3.2. FLUIDOS CIRCULANTES

La principal función de los lodos de perforación es mantener la estructura del corte limpia y remover los cortes de la formación mientras éstos son generados. Además, el fluido de perforación controla las presiones de la formación, estabiliza las paredes del pozo, enfría, lubrica y apoya la broca y el conjunto de fondo de perforación (BHA).

Los motores de fondo pueden operar con la mayoría de los fluidos circulantes los cuales pueden tener diferentes viscosidades y densidades, incluyendo:

- Agua fresca y fluidos base agua con sal (Water Based Mud, WBM).
- Fluidos base aceite (Oil Based Mud, OBM).
- Emulsión de aceite.
- Polímeros, sintéticos, formiatos, silicatos, glicol, base calcio, saturado con sal, espuma y aire.

Los motores operan con fluidos circulantes cuyos rangos van desde el aire (con surfactante) hasta lodos con más de 20 ppg (1.038 psi/ft).

A medida que la viscosidad del fluido circulante aumenta, la eficiencia de sellado entre el rotor y el estator (líneas de sello o ajuste de compresión) aumenta ligeramente. Los cambios en la viscosidad ligeramente afectan las pérdidas de presión a través de los motores; sin embargo, la variación de la viscosidad no tiene un efecto significativo sobre las características de funcionamiento de los motores.

El máximo contenido de sólidos aceptable depende de las características de los sólidos y los niveles estándar del contenido de sólidos para aplicaciones típicas de perforación.

Puesto que el motor es dependiente de los fluidos circulantes para su funcionamiento, todos los aspectos del lodo deben ser considerados para proporcionar la eficiencia y la longevidad de la operación del motor.

Las consideraciones de fluido circulante con respecto a los motores de fondo incluyen:

- Fluidos fase agua o petróleo y los productos químicos y sólidos primarios.
- Aditivos químicos, sólidos y gases (por ejemplo nitrógeno).
- Recirculación de los recortes sólidos.

- Los efectos de la temperatura y la presión.
- Fluidos, gases y sólidos introducidos desde la formación.
- Gas introducido durante las operaciones en superficie (aireación).

Estas consideraciones detalladas anteriormente están relacionadas con: (a) el desgaste de las características del motor y el daño potencial de sus componentes debido a la erosión y a la abrasión por los sólidos; (b) la corrosión metálica por el fluido circulante o por los componentes químicos del fluido y (c) la posible degradación de los elastómeros producto del fluido circulante o de los productos químicos del fluido circulante.

3.2.1. Materiales para la pérdida de circulación (lost circulation materials, lcm)

Los materiales para la pérdida de circulación LCM es la pérdida de circulación total o parcial provocada por la pérdida de presión hidrostática

La pérdida de circulación de materiales debe ser considerada en términos de la geometría del motor, abrasión, niveles de concentración, contenido químico y la uniformidad de la mezcla en relación al desempeño y la longevidad del motor.

No existen valores definitivos que se puedan establecer para LCM con respecto a los motores de fondo. Esto se debe a que se disponen de varios tipos de LCM y porque diferentes tipos de LCM pueden mezclarse para aplicaciones específicas. Por tanto, cada aplicación debe considerarse en forma individual.

3.2.2. Corrosión

Los componentes metálicos de los motores son producidos a partir de altos grados de aleación de acero inoxidable para especificaciones rigurosas. Recubrimientos superficiales (coating) avanzados se aplican a los componentes cuando sea necesario. Las especificaciones de los componentes metálicos del motor y sus revestimientos superficiales proporcionan las propiedades mecánicas requeridas y la resistencia a la corrosión.

A pesar de que la resistencia a la corrosión es un atributo integral de los materiales con que están fabricados los componentes del motor y además, cuentan con recubrimientos en sus superficies, se debe considerar la minimización o la prevención de agentes corrosivos. Estos agentes pueden estar presentes inicialmente en los fluidos circulantes o pueden ser añadidos al lodo durante las operaciones de perforación como fluidos o sólidos.

3.2.3. Brocas

La selección óptima de la geometría de la broca como el diseño de las cuchillas, su perfil y la eficiencia de corte, se basa en las ventajas y desventajas de la maniobrabilidad, la generación de torque del motor, el ROP, la estabilidad y la limpieza de la broca. Las brocas que más se utilizan son las de diamante (Polycrystalline Diamond Compact, PDC).

El tipo de broca que se utilice depende de la formación que se esté penetrando:

- Formaciones Suaves: Se utilizan brocas de dientes largos y espaciados.
- Formaciones Medias: Se emplean brocas con dientes más pequeños, más numerosos y menos espaciados.
- Formaciones Duras: Se requieren brocas con dientes muchos más pequeños y más unidos.

Las fallas de los motores de fondo se deben principalmente a problemas con los elastómeros del estator de la sección de poder. Por lo que antes de realizar el análisis de las posibles fallas que presentan los motores de fondo durante las operaciones de perforación, es necesario realizar un estudio detallado relacionado a los elastómeros.

3.3. MICROESTANCAMIENTO DEL MOTOR (MICRO – STALLING)

Bajo condiciones de altas cargas, puede ocurrir el microestancamiento del motor de corta duración, el cual tiene el mismo efecto perjudicial en el motor que el estancamiento “completo”.

Durante el microestancamiento, el motor se estanca momentáneamente, la broca se paraliza, y el estator, el eje conductor y la sección de transmisión están sujetos a cargas por el estancamiento. Luego, la broca empieza a rotar otra vez y el estancamiento es eliminado.

El microestancamiento tiene poca duración y usualmente no puede ser detectado en superficie usando manómetros comunes. Puede ocurrir repetidamente cuando los motores operan con grandes cargas y/o con altas ratas de rotación de la sarta de perforación.

3.4. ESTANCAMIENTO DEL MOTOR CON BOQUILLA DE CHORRO EN EL ROTOR

El uso de boquillas de chorro en el rotor modifica las características de funcionamiento de los motores. Los motores con boquillas de chorro en el rotor requieren un control de operación más estricto cuando surgen condiciones de perforación difíciles.

Cuando se utiliza una boquilla de chorro en el rotor con una tasa de flujo superior al valor estándar máximo recomendado, la circulación del caudal total resultará en tasas de flujo excesivamente altas entre el rotor y el estator (exceso de bombeo), lo que provocará un desgaste prematuro y el daño del elastómero.

Las perforaciones con diferenciales de presión de operación muy bajos también pueden resultar en un flujo excesivamente alto entre el rotor y el estator que da lugar a este desgaste prematuro ya mencionado.

Cuando se utiliza una boquilla de chorro en el rotor y se opera con tasas de flujo superiores al valor estándar máximo recomendado, la velocidad de circulación debe reducirse por debajo de la rata de flujo estándar máxima recomendada.

3.5. SUJETOS DE LA INVESTIGACIÓN

Población: Ingeniería de Petróleo

Muestra: Desviaciones durante la Perforación de pozos.

3.6. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTO

La metodología a usar será el inductivo – Deductivo. Por tratarse de un trabajo de investigación y adecuación fundamentalmente de campo, este método nos permitirá poner adaptarnos con las técnicas de Recuperación Mejorada en México y poderlas ejecutar en nuestros propios yacimientos, con la ayuda del largo historial de datos que tiene nuestros pozos.

3.7. TORQUE REACTIVO DEL MOTOR Y EFECTO “STICK – SLIP”

3.7.1. Torque Reactivo del Motor

El torque requerido por la broca para mantener la rotación y lograr la penetración en la formación, produce un igual torque reactivo el cual actúa a través de los componentes del motor (eje conductor, unidad de transmisión y cubiertas del estator) haciendo girar a la sarta en sentido opuesto a la rotación de la broca (hacia la izquierda).

La cantidad de torque requerido por la broca es una función del WOB aplicado y de las interacciones entre la broca y la formación. Si la cantidad de torque requerido por la broca aumentara, el torque reactivo también se incrementará. Entonces, el valor del torque reactivo es equivalente al valor del torque resultante.

3.8. EVOLUCIÓN DE LA HERRAMIENTA RSS

Como se ha mencionado anteriormente, a finales de los años noventa y con la introducción de la herramienta desarrollada por compañías de servicios petroleros para perforación, los beneficios de los sistemas de geonavegación comenzaron a ser documentados. Sin embargo, desde que se conoce la perforación direccional, el control de la dirección de manera rotatoria ha sido una práctica común. La técnica de deflexión del ensamblaje de fondo (BHA) y el control de inclinación para pozos ha evolucionado con el tiempo, esta evolución nació del uso continuo de motores de fondo y MWD con ángulo ajustable, pasando a un mayor control de la arquitectura de los pozos en tres dimensiones (3D) mediante el uso de la herramienta de rotación direccional RSS. Originalmente, los sistemas para el control de dirección utilizaban una sola medida magnética (Magnetic single shot survey) para determinar la posición de la broca de perforación en el fondo, mientras que para la perforación, mantenimiento o caída del ángulo de inclinación del pozo se utilizaban cuñas de desviación (whipstock) y la técnica de los chorros (jetting) en conjunto con la rotación de la sarta de perforación.

Posteriormente, se utilizaron motores de fondo con equipos de estabilizadores para producir la desviación de la trayectoria del pozo. Las herramientas direccionales y las técnicas de posicionamiento alámbricos (wireline) permitieron determinar la posición de la broca de perforación, previamente a la evolución de los sistemas MWD durante los años ochenta, cuando estos métodos alámbricos fueron eliminados de las operaciones de perforación direccional. Hoy en día, sistemas de curvaturas ajustables que permiten controlar la trayectoria en tiempos real a través de control remoto sin necesidad de cambiar la configuración del ensamblaje de fondo (Bent sub ajustables) y motores direccionales combinados con herramientas MWD, permiten la deflexión del conjunto de fondo y la perforación rotatoria desde el punto de arranque (Kick off Point) a la profundidad medida (MD) con un mejor control en 3D.

3.9. TECNOLOGÍA UTILIZADA POR LOS SISTEMAS DE ROTACIÓN DIRECCIONAL RSS

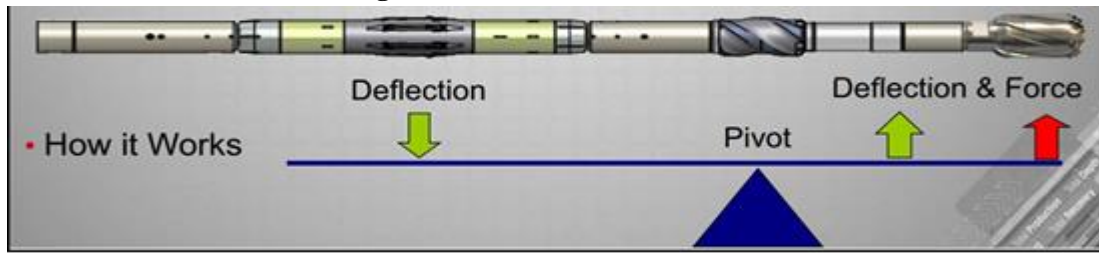
Los sistemas RSS cuentan con dos tecnologías para generar la deflexión como los son los modos Push the Bit y Point the Bit, los mismos una vez que la carcasa se encuentra estable o suficientemente estable para determinar su orientación, emplean una fuerza que es aplicada para deflectar la broca de perforación en la dirección deseada. Esto es seguido por la aplicación de una fuerza (algunas veces curvada) al mandril o eje conectado a la broca de perforación.

3.9.1. Sistemas Point The Bit

Es un sistema que consiste en aplicar una fuerza, generada dentro de la herramienta, que permite modificar la dirección de la broca en la trayectoria deseada (posee un eje interior que produce la

desviación en la trayectoria de la broca), esto se realiza rotando la sarta de perforación logrando dirigir con precisión el pozo en el recorrido planeado

Figura 3.1: Sistema Point The Bit

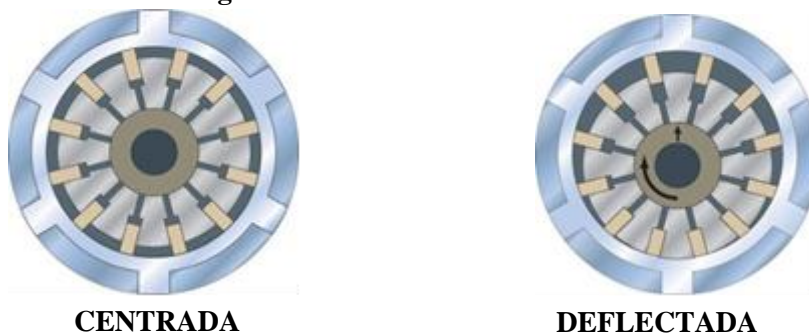


Estas herramientas utilizan fuerzas internas (internal deflector) para flexionar el mandril, o también pueden aplicar un peso excéntrico (eccentric weight) dentro de la carcasa para mantener el eje de la broca, señalando la dirección en que se encuentra activada la broca en la carcasa.

Estos sistemas en unas de sus presentaciones utilizan un estabilizador cercano a la broca para orientar el eje al cual se amarra la misma. La experiencia ha comprobado que el modo “Apunte de broca” ha dado como resultados orificios mucho más suavizados, y limpios debido a la mecánica de perforar con la cara de la broca. Se utiliza una camisa externa no rotatoria con insertos anti-rotatorios los cuales se amarran a la formación impidiendo el giro de la camisa al momento de rotar la sarta. El árbol central de esta camisa se encuentra amarrado de tal forma que transmite el torque hasta la broca y se aísla de la camisa con rodamientos. El movimiento relativo entre el árbol central de la camisa y la camisa provee de energía cinética a una bomba hidráulica. Esta bomba a su vez genera la fuerza móvil requerida para promover la deflexión o des-alineación con respecto al centro de la herramienta dentro de la camisa. Cuando se requiere desviar la trayectoria del pozo, una serie de pistones hidráulicos son activados para lograr esta fuerza que promueve esta des-alineación o deflexión en la dirección contraria hacia donde se desea desviar la trayectoria



Figura 3.2: RSS – POINT THE BIT



Si por algún momento la camisa no rotatoria, es liberada o deja de morder la formación, los circuitos re-direccionan al sistema hidráulico para mantener la orientación y la deflexión programadas. Una serie de sensores montados en el árbol central miden la orientación hacia la cual apunta la cara de la broca, la deflexión del árbol y las rpm's relativas entre el árbol mismo y la camisa. Se utilizan baterías de litio para alimentar a los componentes electrónicos, alojados dentro de la herramienta misma, unidad de control. El inserto que contiene los componentes electrónicos alberga de igual forma un sensor de inclinación cercano a la broca, al tiempo que posee la capacidad para albergar sensores de azimuth y registro de rayos gamma.

Figura 3.3: Unidad de Control



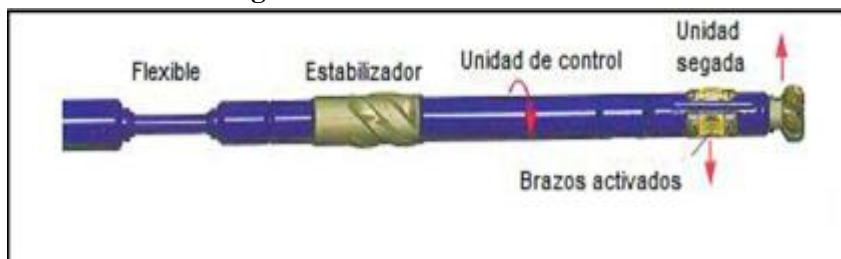
Este sistema “point the bit” opera en tres modos:

- **“Normal Drilling Mode”** el cual consiste en la energización de los pistones de acuerdo a la orientación y deflexión programadas en la memoria.
- **“Pumpback Mode”** el cual consiste en la energización equivalente en todos los pistones manteniéndose entonces el árbol dentro de la camisa centrado y totalmente rígido. Este modo es utilizado tradicionalmente para repasar hacia arriba.
- **“Neutral Mode”** el cual es usado para viajes ya que los pistones quedan sin energizar y la camisa es libre de moverse con respecto al árbol central. Esto es útil al intentar pasar por intervalos rígidos y/o tortuosos.

3.9.2. Sistema Push The Bit

Este es un sistema que consiste en aplicar una fuerza lateral de empuje sobre la pared del pozo para lograr dirigir la broca en la dirección deseada, esta carga se aplica a un solo lado desviando la trayectoria lateralmente en una dirección controlada mientras toda la sarta de perforación gira como se muestra

Figura 3.4: Sistema Push The Bit



Este mecanismo consta de dos elementos principales: el primer elemento contiene los componentes mecánicos (estabilizadores no rotativos con brazos ajustable), que aplican una fuerza lateral sobre la pared del hoyo, produciendo una fuerza opuesta a la dirección de perforación normal empujando a la broca de perforación.

Se requieren formaciones consolidadas con una resistencia determinada para el uso de estas herramientas.

El segundo elemento consiste en los sistemas de controles electrónicos y sensores, los cuales incluyen MWD y LWD; esta unidad de control es independiente de la velocidad de rotación externa.

Figura 3.5: Principales características de las herramientas tipos RSS con camisas no rotantes y rotantes, que actúan en modo estático o dinámico.

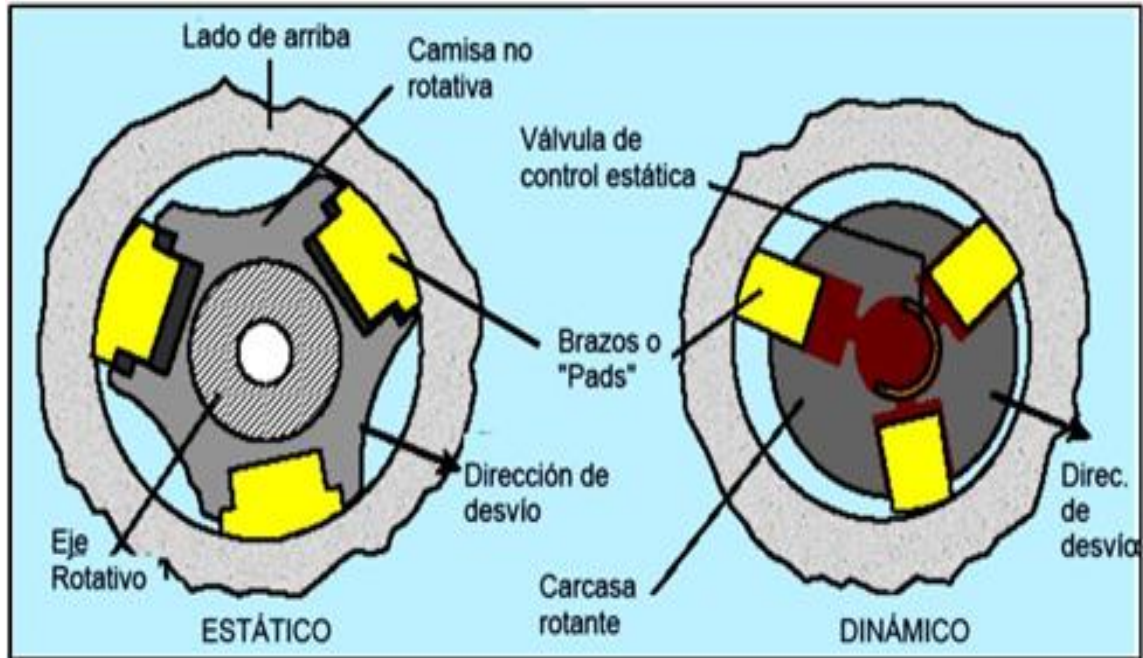


Figura 3.6: Principales características de la herramienta tipo push the bit (rss) con camisas no rotativas que presentan dos configuraciones: tres pads (derecha) y cuatro pads (izquierda), que actúan en modo estático o dinámico.

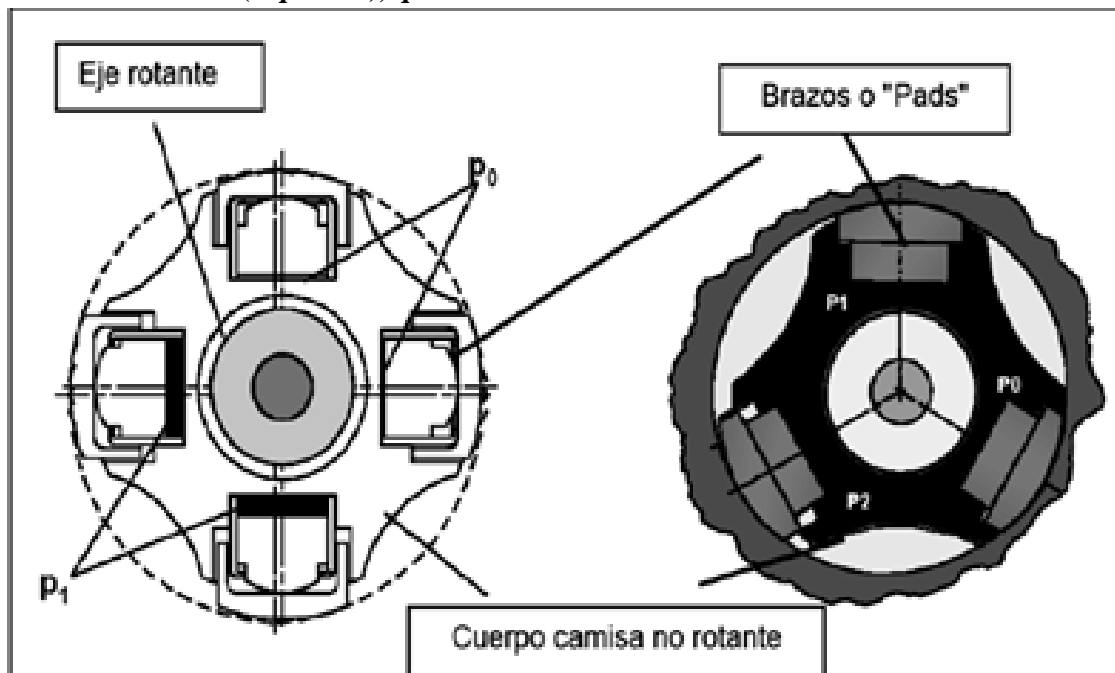
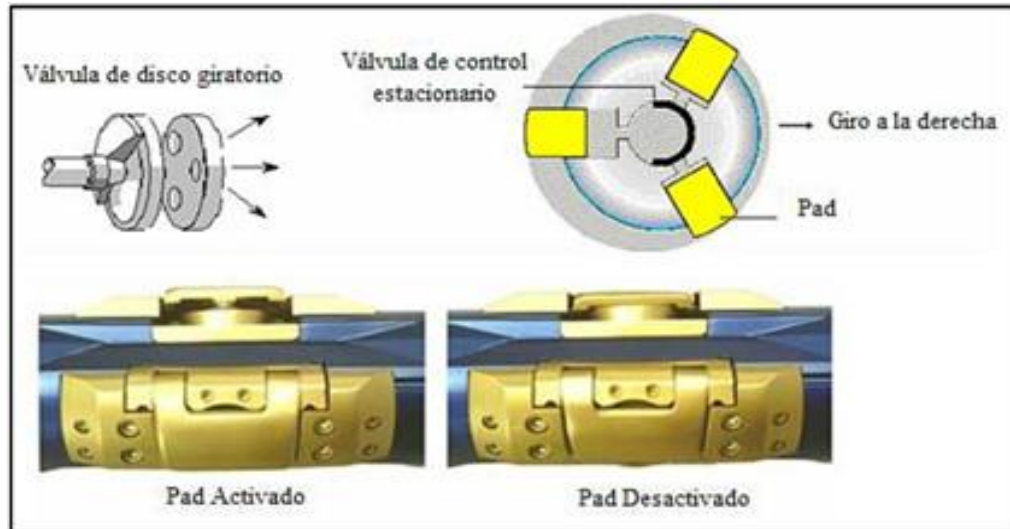
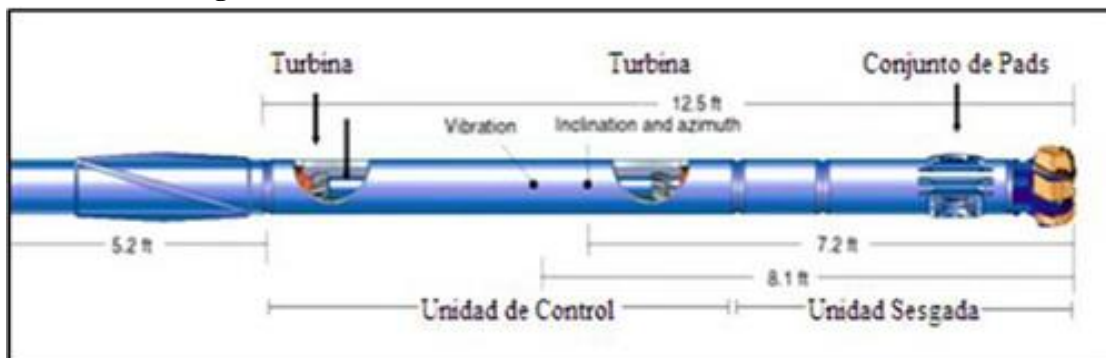


Figura 3.7: Componentes del sistema “Push the Bit”



Estos mecanismos son sistemas compactos y poco complicados desde el punto de vista mecánico, que comprende una unidad sesgada (Bias Unit) y una unidad de control que agregan solo 3,8m (12½ pies) a la longitud total del BHA. La unidad sesgada, ubicada directamente detrás de la broca, aplica una fuerza sobre la broca en una dirección controlada mientras toda la columna gira.

Figura 3.8: Sistema Rotativo Rireccional Modo Push the Bit



3.9.3. Ventajas del uso de la Tecnología RSS

Con el uso del sistema tipo RSS se obtiene varias ventajas en comparación con el uso de sistemas convencionales de perforación direccional, como los motores de fondo y las turbinas. Las primeras ventajas son las debidas a la eliminación de la perforación de manera deslizante; entre estas se tienen que:

- Mejoran la tasa de penetración reduciendo los tiempos de perforación.
- Mejoran la limpieza de hoyo disminuyendo la densidad equivalente de circulación o ECD (Equivalent Circulating Density).
- Reducen el torque y arrastre permitiendo la perforación de secciones de largo alcance como es el caso de los pozos de alcance extendido
- Reducen los problemas de atascamiento de tubería por pega diferencial

Adicionalmente, se puede decir, de manera general que los RSS proveen:

- Hoyos menos tortuosos o irregulares y más en calibre que requieren menos repaso, con los consecuentes ahorros por disminución del tiempo de perforación y mejor calidad de hoyo,

presentando ventajas en la eliminación de revoque y la disminución de problemas en la cementación.

- Mayor control en la tasa de construcción de ángulo.

Por otro lado, no en todos los pozos se requiere el uso de herramientas tipo RSS, debiéndose primero a considerar la arquitectura del pozo y la relación costo- beneficio, siendo beneficioso el uso de esta tecnología en los siguientes casos:

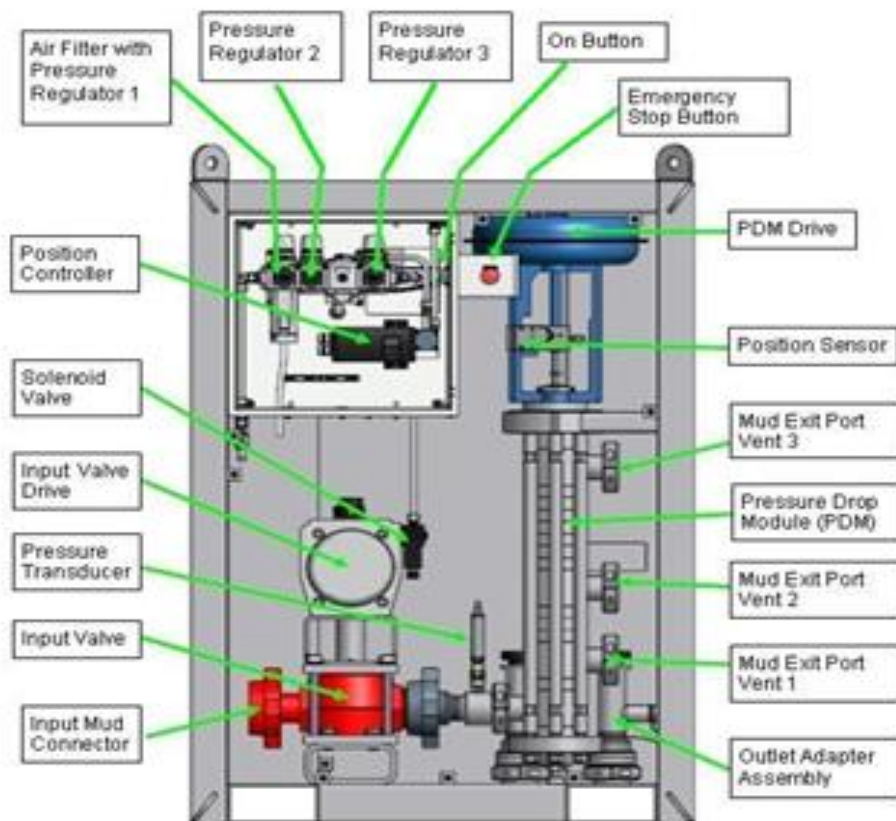
- Pozos de alcance extendido o ERW que van más allá de las zonas tradicionales en formaciones consolidadas.
- Diseños de pozos donde el deslizar limita llegar a la zona de interés (arenas objetivas).
- Pozos con condiciones de alta presión, temperatura y profundidad en donde los motores de fondo convencionales presentan mayor probabilidad de falla y corto tiempo de vida útil.

3.10. EQUIPOS DE SUPERFICIE EN LA UTILIZACIÓN DEL RSS

3.10.1. Downlink Commader (DLC)

Los RSS tanto el *push the bit* como el *point the bit* son controlados desde superficie por el DLC, una herramienta que utiliza lodo de perforación para comunicarse con herramientas de fondo de pozo desde la superficie. El DLC genera pequeñas reducciones en la tasa de flujo de lodo, lo que hace que los impulsos de presión negativa que sirven como señales de telemetría codificadas digitalmente. Las herramientas de perforación reciben, decodifican e interpretan estos impulsos como comandos, para cambiar el azimuth e inclinación del hoyo según lo necesitado para llegar al objetivo. Estas reducciones de la tasa de flujo se generan ventilando una cierta cantidad del flujo de lodo, direccionándolo a través del DLC, y devolviéndolo a través de una línea al tanque de lodo.

Figura 3.9: Equipo de Superficie Downlink Commader



3.11. GRÁFICOS DEL DESEMPEÑO DE LOS MOTORES DE FONDO

En todas las operaciones de perforación se debe mantener un equilibrio razonable entre el ROP y la presión diferencial del motor, dando como resultado la confiabilidad del motor. En muchos casos, para una aplicación dada, existe un nivel de velocidad de rotación y torque resultante más allá de los cuales las operaciones se encuentran muy debajo de lo óptimo.

Por lo que es imperante conocer los valores de los parámetros con los cuales cada uno de los motores de fondo debe operar para asegurar su máxima confiabilidad, de ahí que es necesario el uso de los gráficos de las especificaciones del desempeño de los motores.

Estos gráficos representan el desempeño o el comportamiento típico de la sección de poder para cada modelo de motor en particular durante las operaciones de perforación.

Los gráficos del desempeño de un motor de fondo relacionan las características de entrada (input) como es el caudal del fluido de perforación, y las características resultantes (output) como son la presión diferencial de operación y el torque resultante.

Estos gráficos se obtienen mediante pruebas de laboratorio realizadas con dinamómetros en superficie a temperatura ambiente, con agua como fluido de prueba, los cuales proporcionan una guía de las características razonablemente exactas.

Es necesario hacer hincapié que las condiciones del fondo de pozo y los parámetros operacionales son diferentes a las condiciones de laboratorio o durante las pruebas con el dinamómetro, puesto que son difíciles de reproducir.

3.11.1. Uso de los Gráficos del Desempeño de los Motores de Fondo.

En estos gráficos se ilustran las relaciones existentes entre los diferentes parámetros de las operaciones de perforación con motores de fondo. Para minimizar el número de gráficos necesarios para cada tipo de modelo de motor, un solo gráfico se usa para combinar dichos parámetros.

Dentro de los rangos de funcionamiento especificados del motor, la presión diferencial de operación está directamente relacionada con el torque resultante, mientras que el caudal de entrada está directamente relacionado con la velocidad de salida.

La presión diferencial de operación en los gráficos representa el diferencial de presión que produce la potencia resultante de los motores. Es decir, la presión diferencial en los gráficos no incluye las presiones requeridas para arrancar el motor (presión sin carga).

Estos gráficos son una guía útil para determinar el equilibrio óptimo de la presión diferencial con el caudal. La intersección de la línea recta que representa el torque con la línea curva que representa la velocidad del motor no indica el punto óptimo de funcionamiento.

Además, en estas gráficas se ilustran la Máxima Presión Diferencial de Operación, denominada como la “Carga Máxima de Operación”.

Para prolongar la vida útil del motor, éste debe operar a no más del 80% de su velocidad máxima para cualquier tasa de flujo dada, y mantener este caudal por debajo del 90% de su valor máximo.

En condiciones favorables de perforación, ambos parámetros (velocidad y caudal) pueden aumentarse al máximo.

Los gráficos del desempeño de un motor de fondo están compuestos por tres zonas de color verde, ámbar y roja.

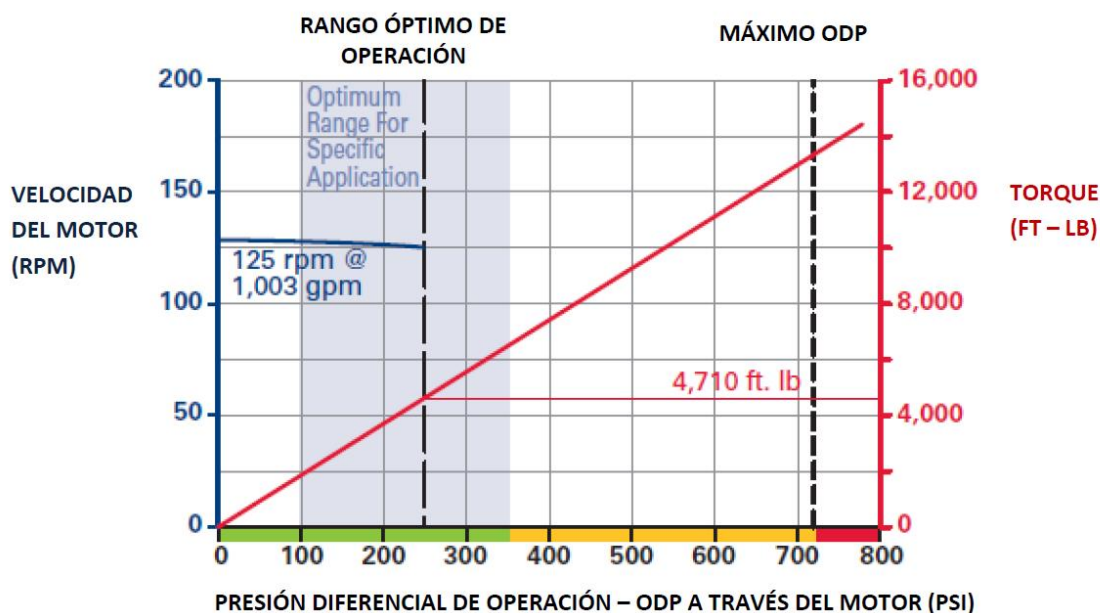
3.11.1.1. Zona de Operación Nominal (Zona Verde)

Los niveles de potencia y torque producidos dentro de la zona de operación nominal, son adecuados para lograr tasas de penetración (ROP) requeridas, mientras se mantiene el control direccional.

Esta zona muestra el “Rango Óptimo de Operación” de los motores de fondo para una aplicación específica (zona sombreada de la figura).

El mantenimiento de la presión diferencial de operación, el torque resultante, la velocidad del motor y los caballos de fuerza aplicados dentro de esta zona, optimizará el desempeño general, maximizará la confiabilidad y la longevidad de los componentes del motor, y reducirá al mínimo las tendencias de microestancamiento y estancamiento del motor.

Figura 3.10: Rango Óptimo de Operación en el Gráfico del Desempeño de un Motor de Fondo.



Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING

3.11.1.2. Zona de Transición (Zona Ámbar)

Varios parámetros variables del fondo del pozo actúan sobre los motores, ya sea individualmente o en combinación. Esto puede producir condiciones adversas para las operaciones del motor.

Además de los efectos de la temperatura del fondo del pozo y los productos químicos del fluido de perforación, los parámetros del fondo del pozo que afectan a los motores incluyen la interacción dinámica de la broca con la formación, que pueden promover cargas mecánicas erráticas en el motor.

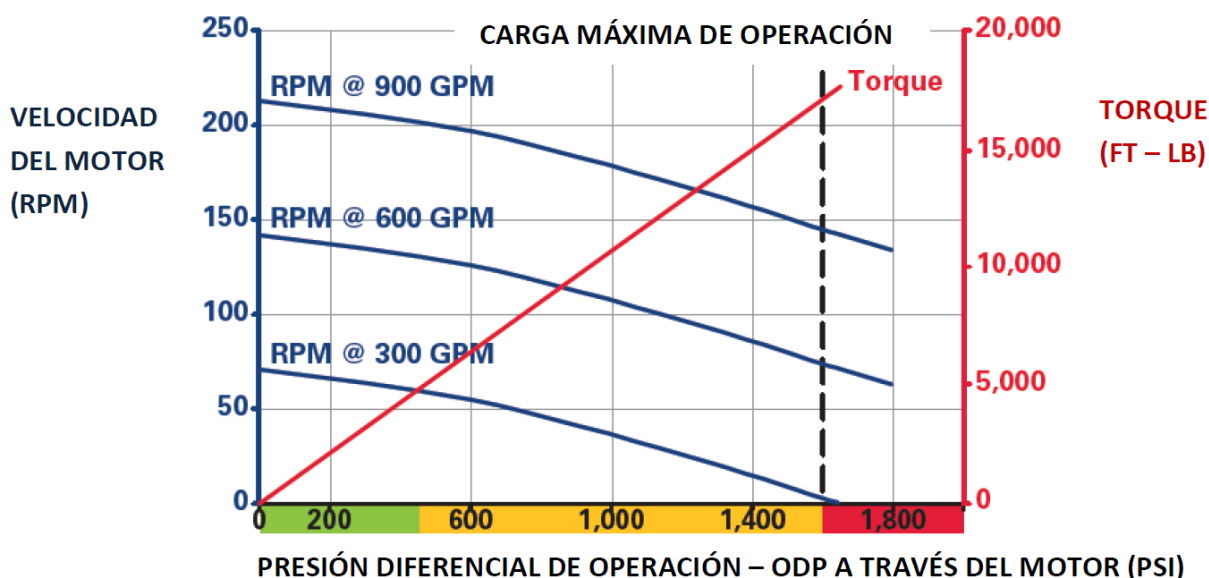
Las operaciones en la zona ámbar producen un buen desempeño, aunque en algunas aplicaciones, el desgaste de los componentes del motor puede acelerarse y el control reducirse, pudiendo existir, además una tendencia a la aparición del microestancamiento y el estancamiento del motor.

Cuando los parámetros del fondo del pozo actúan de manera adversa, pueden producir una zona de operación cerca de la “Carga Máxima de Operación” del motor, donde se produce el desgaste acelerado de los componentes del motor.

Asimismo, las operaciones en esta zona a veces pueden ser caracterizadas por la dificultad en el mantenimiento constante de los parámetros de la carga del motor.

Teniendo en cuenta condiciones óptimas de operación, no se considera esta zona de transición y la zona de operación nominal (zona verde) se extiende hasta la “Carga Máxima de Operación” especificada.

Figura 3.11: Gráfico del Desempeño de un Motor SperryDrill con OD: 8”, Configuración Lobular 5:6 y Número de Etapas: 5.2.



Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING

3.11.1.3. Zona de Estancamiento (Zona Roja)

Esta zona representa la aparición del estancamiento “completo” del motor. Cuando se produce el estancamiento, la carga de la broca excede el torque máximo y la potencia que pueden ser producidas por el motor dados parámetros específicos de operación. El torque resultante se eleva rápidamente y se mantiene en un valor máximo mientras que la velocidad resultante se reduce drásticamente hasta llegar a cero.

La aparición del estancamiento “completo” del motor detiene la rotación de la broca y el rotor de la unidad de poder se paraliza en el estator. La continua aplicación de la rotación de la sarta de perforación y el bombeo de fluido de perforación durante el estancamiento del motor conllevan a cierto daño en el par rotor/estator y aumenta la posibilidad de daño asociado a los componentes del motor.

Figura 3.12: Manómetro que Indica los Rangos de Operación de la Presión Diferencial en Superficie.



Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING.

3.12. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.12.1. Información Requerida para Estudio de Factibilidad de Aplicación de la Tecnología RSS

3.12.1.1. Historia de Perforación

- Información de pozos vecinos del Operador, problemas encontrados
- Zona de pérdidas o influjos
- Zonas de inestabilidad, empaquetamientos y/o pegas
- Presencia de arcillas hidratables
- Fluidos de perforación utilizados en el área (tipo y densidad)
- Tasas de penetración obtenidas
- Diseño mecánico de pozos
- Sistema de completamiento utilizado

3.12.1.2. Información necesaria para el uso de la Herramienta

- Creación de un modelo anticolidión
- Análisis de choques y vibraciones (identifica las frecuencias de resonancia críticas y las RPM que se tiene que evitar durante la perforación)
- Simulaciones de Torque y Arraste (operaciones de perforación, bajada y extracción de la sarta de perforación)
- Modelo hidráulico a través de varias densidades y rangos de tasas de flujo del lodo.

3.12.1.3. Información Adicional

- Diseño Mecánico
- Programa direccional
- Tipo y características del Motor de fondo
- BHA a utilizar
- Tipo y características del fluido de perforación a utilizar

3.12.1.4. Pasos que Involucran la Selección del RSS

Los pasos involucrados en la selección del candidato al RSS o a su factibilidad de estudio puede ser dividido en las siguientes características:

- Definir, identificar y establecer el objetivo
- Adquirir información
- Realización del análisis hidráulico
- Selección del método
- Determinar la viabilidad del RSS, usando un análisis económico
- Recomendación del equipo

3.12.1.5. Método de Selección

Existen 2 variantes del RSS que están disponibles en la industria del petróleo, cada variante se ajusta a un escenario específico y resuelve los problemas asociados con el escenario, haciendo la selección de la más apropiada variante del RSS. Sin embargo, la selección de un método del RSS depende de:

- Análisis Hidráulico
- Disponibilidad del personal apropiado
- Factibilidad de opciones

3.12.1.6. Factores a considerar para la Selección de la Herramienta tipo RSS

Al momento de seleccionar el tipo de RSS para un pozo candidato donde se haya identificado el uso de esta tecnología, se deben tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Costos.
- Tamaño de hoyo requerido.
- Tasa de construcción de ángulo requerido.
- Experiencia comercial e información operacional histórica de la compañía de servicio.
- Información disponible de pozos vecinos para su comparación.

3.12.1.7. Implementación

Poder de Torque en combinación con el Sistema de Navegación Rotario tipo Push The Bit para pozo vertical para la perforación

Figura 3.13: RSS - Ventajas y Desventajas



Por lo tanto, la implementación de un motor de alto poder de torque más una herramienta de navegación rotario en serie a los ensamblajes de fondo para perforar la sección, permitirá que se tenga un aumento de la velocidad de penetración, un mayor control de la verticalidad y una disminución en la tortuosidad.

La velocidad de penetración aumentara debido a que el Sistema de Navegación Rotario controla la verticalidad o la construcción del ángulo mientras se trabaja con alto peso sobre la broca (WOB) evitando así las correcciones de las desviaciones. Además, la sección de motor de alto poder de torque otorgara mayor energía al sistema.

El conjunto de fondo está compuesto principalmente por el sistema de Navegación Rotario, Motor, LWD, MWD, hydraulic jar, drillpipe 5 ½”.

El caudal optimo definido para esta sección fue de 900 gpm con posibilidades de aumentarlo a 1000 gpm, la determinación de ese galonaje se realizó considerando el requerimiento de caudal de las herramientas del BHA correcta limpieza del hoyo y el patrón de flujo a obtener en el espacio anular

3.13. MÁXIMO DE HORAS DE OPERACIÓN DE LOS MOTORES DE FONDO

La asignación de una cantidad máxima acumulativa específica de horas de operación de los componentes de los motores de fondo no es posible determinar, debido a los muchos parámetros variables del fondo del pozo, los cuales actúan, individualmente y en combinación, sobre los componentes de los motores.

Estos incluyen tanto los factores ambientales del fondo del pozo y los factores de operación aplicados desde superficie. Cada aplicación presenta diferentes condiciones de operación.

Los componentes del motor tienen propiedades físicas y composiciones químicas diferentes, de manera que cada uno puede reaccionar de forma diferente cuando los parámetros de fondo, individuales y acumulativos, actúan sobre ellos.

Se realiza un seguimiento de las horas acumulativas de operación en la mayoría de los componentes del motor.

A pesar de que se desconocen las horas máximas de operación que los componentes de un motor pueden trabajar, en el caso de los elastómeros, los fabricantes pueden dar una pauta a las compañías petroleras sobre un aproximado del número de horas que un elastómero puede operar.

Para el caso de los elastómeros NBR el número máximo acumulativo de horas operacionales es de aproximadamente, 300 a 400 horas.

Todos los motores son desmantelados después de cada aplicación y los componentes individuales son inspeccionados en detalle.

3.14. DIAGNÓSTICO DE LOS PROBLEMAS DE OPERACIÓN DEL MOTOR Y SU REPORTE

Todos los informes de los problemas percibidos deben ser prontamente proporcionados al correspondiente coordinador de la perforación direccional y procesados según procedimientos conocidos. Todo lo relacionado con datos de apoyo deben acompañar a los informes de los problemas percibidos. Fotos deben ser tomadas para registrar los posibles daños de los motores.

Los posibles factores que contribuyen a los problemas relacionados con el motor incluyen:

- Todos los parámetros de operación aplicados desde superficie.
- Cualquier suceso notable como:
 - Alto WOB.
 - Alta velocidad de rotación de la sarta de perforación.
 - Estancamientos significativos.
 - Estancamientos repetidos.
 - Formaciones “seltas”.
 - Altas/bajas ratas de flujo.
 - Alto contenido de sólidos en el fluido de perforación.
 - Mal funcionamiento de los martillos y otras herramientas del BHA, etc.

Hay varios indicadores en la torre que pueden relacionarse con un tipo de problema específico del motor. Algunos de los indicadores son razonablemente definitivos; sin embargo, muchos no lo son. Una indicación final en el sitio de la perforación no necesariamente se relaciona directamente con la causa inicial del problema. Por lo que la especulación no es recomendable.

La causa definitiva de un problema se concluye al considerar los siguientes puntos:

- Todos los aspectos de los parámetros de operación.
- Registros y eventos.
- El desmontaje de la herramienta y la inspección de los resultados.
- La reparación de la herramienta y su mantenimiento.
- Registros seguros y certeros de la calidad de los componentes de la herramienta.

Un cuidadoso análisis de los datos de operación y de los resultados de la inspección después del desmontaje del motor, permitirán identificar la causa del problema y ayudarán a prevenir que se repitan estos inconvenientes.

Las tablas que se muestran a continuación, representan los problemas de operación con respecto a los estatores de los motores de fondo y las recomendaciones que se deben acatar ante estos sucesos. La indicación del problema se basa en diferentes observaciones logrando determinar una posible causa y, por ende, una medida correctiva.

Cuadro 3.1: Observaciones del Motor en Superficie.

PROBLEMAS DE LAS OPERACIONES DEL MOTOR Y ACCIONES RECOMENDADAS		
Observaciones del Motor en Superficie		
INDICACIÓN DEL PROBLEMA PRIMARIO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN RECOMENDADA
<ul style="list-style-type: none"> • El Eje Conductor rota fácilmente. • El Motor no mantiene el fluido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Algunas Unidades de Poder operan con un mínimo Ajuste de Interferencia entre el Rotor/Estator. En caso de aplicaciones a altas temperaturas, el Ajuste de Interferencia es "espacioso" en superficie, volviéndose óptimo a condiciones del fondo del pozo. • Rotor/Estator deteriorado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Está bien realizar la corrida si el Motor es nuevo y el Ajuste de Interferencia es verificado que sea el correcto para la temperatura de fondo. • Si el Motor se ha usado anteriormente, se debe considerar el desempeño durante las corridas anteriores, y las condiciones y horas esperadas en la siguiente corrida planeada. • Reemplazar el motor.

Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING HANDBOOK.

Cuadro 3.2: Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor (Estancamiento).

PROBLEMAS DE LAS OPERACIONES DEL MOTOR Y ACCIONES RECOMENDADAS		
Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor		
INDICACIÓN DEL PROBLEMA PRIMARIO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN RECOMENDADA
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento significativo de la Presión Diferencial de Operación. • No hay penetración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estancamiento del Motor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Inmediatamente parar el Bombeo del Fluido y la Rotación de la Sarta, y sacar a la Broca del fondo del pozo. Variar los parámetros y regresar al fondo suavemente. Si el Estancamiento continúa, repetir el levantamiento del fondo y la variación de los parámetros. • Si no hay progreso reemplazar el Motor.

Cuadro 3.3: Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor (RPM).

PROBLEMAS DE LAS OPERACIONES DEL MOTOR Y ACCIONES RECOMENDADAS		
Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor		
INDICACIÓN DEL PROBLEMA PRIMARIO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN RECOMENDADA
<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuaciones de la Presión Diferencial de Operación y/o Estancamientos significativos del Motor. • Estancamientos repetidos del Motor. • Incremento significativo de la Presión Circulante por encima del calculado 	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva Velocidad de Rotación de la Sarta mientras se perfora y ocurre la Carga instantánea en la Broca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analizar los efectos de la Rotación de la Sarta de Perforación y las Cargas Mecánicas.

Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING HANDBOOK.

Cuadro 3.4: Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor (FORMACIÓN).

PROBLEMAS DE LAS OPERACIONES DEL MOTOR Y ACCIONES RECOMENDADAS		
Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor		
INDICACIÓN DEL PROBLEMA PRIMARIO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN RECOMENDADA
<ul style="list-style-type: none"> • Fluctuaciones del Torque Reactivo de la Sarta de Perforación y/o Estancamientos significativos del Motor. • Estancamientos repetidos del Motor. • Incremento significativo de la Presión Diferencial de Operación por encima del calculado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Formaciones “Seltas”. • Desprendimiento de Lutitas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Variar la Rotación de la Sarta de Perforación (emplear bajas velocidades) y el WOB.

Cuadro 3.5: Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con la Temperatura del Fondo del Pozo.

PROBLEMAS DE LAS OPERACIONES DEL MOTOR Y ACCIONES RECOMENDADAS		
Observaciones de los Parámetros de Operación – Relacionado con las Cargas del Motor		
INDICACIÓN DEL PROBLEMA PRIMARIO	POSIBLE CAUSA	ACCIÓN RECOMENDADA
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento Significativo de la Presión Diferencial de Operación. • Estancamientos significativos del Motor. • Estancamientos repetidos del Motor. • Problemas del Control del Toolface. 	<ul style="list-style-type: none"> • La Temperatura del fondo del pozo es significativamente mayor que la esperada y, por tanto, el Ajuste de Interferencia entre el Rotor/Estator es demasiado “apretada”. 	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar los parámetros operacionales y tratar de establecer una Presión Diferencial de Operación y un ROP aceptable. • Cambiar de Motor con la configuración correcta para la Temperatura del fondo del pozo real.

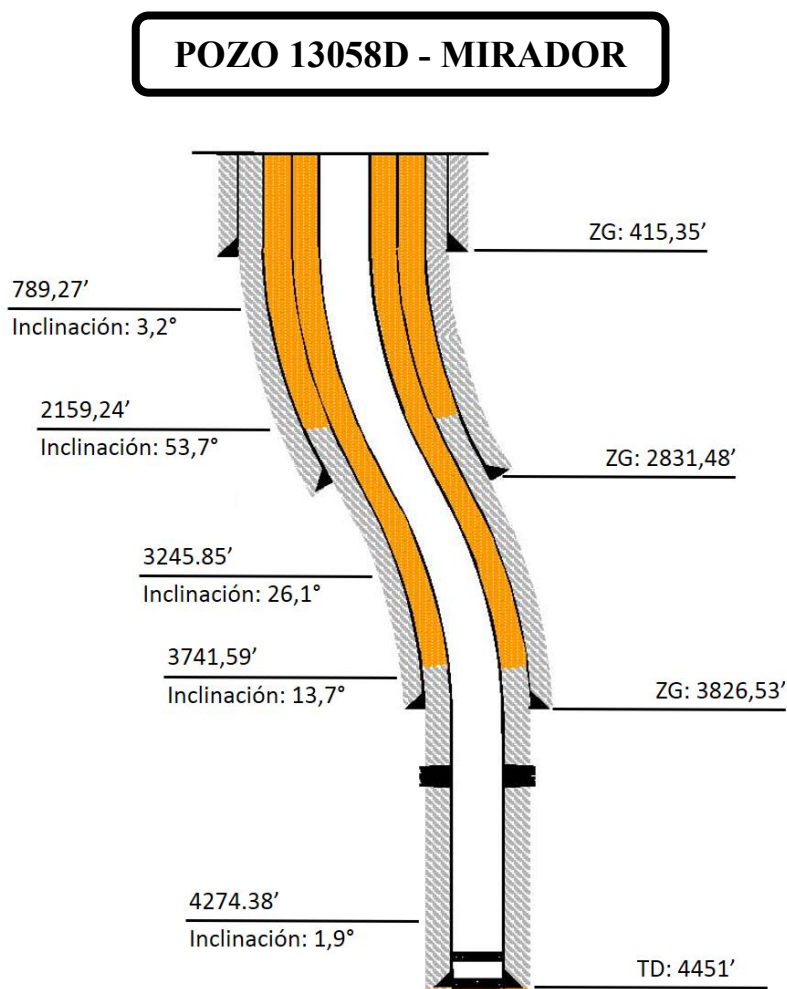
Fuente: HALLIBURTON SPERRY DRILLING HANDBOOK.

3.15. ASPECTOS ÉTICOS

El autor se reserva los derechos de la información suministrada en el presente trabajo, el cual cuenta orden público sin alterar confidencialidad alguna.

CAPITULO IV MARCO METODOLÓGICO

4.1 DISCUSION



INFORMACIÓN GENERAL POZO 13058D Equipo PETREX 5811		
Fecha de Inicio:	28 Agosto 2008	
Fecha de Término:	14 Septiembre 2008	
Formaciones Productivas Esperadas:	Salina Mogollón	
Profundidad Total Recomendada:	4315'	
Casing utilizados:	* 09 CSG 13 3/8" Ø Average Long: 43.63' * 61 CSG 9 5/8" Ø Average Long: 46.97' * 92 CSG 7" Ø Average Long: 41.21'	

INTEROIL
DEPARTAMENTO EXPLORACION EXPLOTACION
RECORD DE PERFORACION - POZO 13058D MIRADOR

N° bit	Ø (pulg)	TIPO	Serie	Jets	Ø Casing	Cia	Pies Perforados		Pies Perforados	Formación
							De	A		
1	17 1/2"	Tricónica	74156	3 x 16 + 1 x 18	13 3/8"	Hughes	0	400	400	Aluvial 180' Mirador 300' Chira Verdún
2	12 1/4"	PDC	JW6845	7 x 14	9 5/8"	Smith	400	2800	2400	Chira Verdún 1360' Lut. Tal. 1620' Palegreda 2420' Sal. Mog.
3	8 1/2"	PDC	JX4676	5 x 12	7"	Smith	2800	4451	1651	Sal. Mog. 2760' Balcones 4250' P.F 4451'
									4451	

4.2 RESULTADOS

	Ventajas	Desventajas
Whipstocks (Cúñas desviadoras)	<p>Eficaz y rentable para realizar desviación de un pozo existente.</p> <p>Puede anclarse en cualquier intervalo del casing.</p> <p>Ahorra tiempo de perforación ya que no hay necesidad de esperar a que el cemento cure.</p> <p>Puede emplearse en casing con daño o desgaste, en zonas deformadas, perforadas o agujero descubierto.</p> <p>No necesita cemento.</p>	<p>Se requiere múltiples extracciones e introducciones en el pozo para poder instalar un Whipstock.</p> <p>Los whipstocks pueden ser recuperables o no-recuperables</p>
Jet Bits (Broca de Chorros)	<p>Si la geología es apropiada, los chorros son más económicos que bajar un motor de fondo. (Zonas de arcilla blandas y semiblandas)</p> <p>Ligeros cambios en la trayectoria pueden ser hechos después que la original trayectoria ha sido establecida.</p>	<p>El principal problema con la desviación con chorros es que algunas veces los doglegs pueden ocurrir en secciones cortas del pozo.</p> <p>La severidad de dogleg en esta parte del hueco puede ser más grande que el calculado de los registros, llegándose a obtener un ojo de llave ocasionando el aprisionamiento de toda la sarta.</p>
Down Hole Motors (Motores de Fondo)	<p>Mayor tasa de penetración (ROP) durante la perforación.</p> <p>La velocidad y el torque son manipulados desde la superficie.</p> <p>Posibilidad de desviar en cualquier punto de la trayectoria de un pozo.</p> <p>Proporcionan un mejor control de la desviación.</p>	<p>Algunos de los elementos del motor de fondo son elastómeros, los cuales con altas temperaturas comienzan a fallar, así como la instrumentación del MWD Y LWD por exceso de horas, temperatura y presión en el fondo del pozo.</p> <p>Otra limitante en la operación es la hidráulica, ya que el requerimiento mínimo de gasto es de 400 gal/min</p>

CONCLUSIONES

- Con el Motor de Fondo tiene la Posibilidad de desviar en cualquier punto de la trayectoria de un pozo.
- Disminuye el tiempo de perforación y los problemas de atascamientos.
- Con el Motor de Fondo, la velocidad y el torque son manipulados desde la superficie por lo cual proporcionan un mejor control de la desviación.
- Las altas temperaturas es uno de los parámetros más importantes que contribuyen a las fallas del estator de la sección de poder.
- Los elastómeros de los estatores, típicamente, fallan debido a las altas cargas mecánicas cuando los estatores se sobrecargan más allá de su nivel de esfuerzo – deformación. Presiones excesivas, estancamientos del motor repetitivos o mucha compresión entre el rotor/estator dan como resultado fallas mecánicas.
- Los aditivos de los fluidos de perforación base agua no causan severos daños en las propiedades mecánicas de los elastómeros, cuando se utilizan durante las operaciones de perforación.
- Las cucharas desviadoras son utilizadas principalmente cuando existen altas temperaturas (donde el motor de fondo no resista estas altas temperaturas.) y en formaciones muy duras, donde las distintas herramientas utilizadas para desviar el agujero no son factibles.
- Muy importante para lograr la optimización de la vida útil del motor, es el uso de los gráficos de desempeño con la finalidad que se trabajen con los valores de los parámetros de perforación especificados para alcanzar un buen desempeño de las operaciones con motor de fondo y evadir problemas graves en la perforación, como es el estancamiento del motor.

RECOMENDACIONES

- Lamentablemente, el campo de la investigación en el Peru es muy reducido debido a que no se cuenta con los equipos y las adecuaciones necesarias para profundizar en temas tales como experimentos de laboratorio de las herramientas de perforación simulando las condiciones en el fondo del pozo. Por lo que se debe exigir a las autoridades pertinentes el desarrollo de este campo.
- Uso de motor de fondo en pozos verticales para alcanzar la verticalidad y minimizar el tiempo de perforación.
- En pozos direccionales usar las herramientas de desviación.
- Considerar los parámetros adecuados con las altas temperaturas en el fondo para así no generar estancamientos significativos del motor.
- Variar la Rotación de la Sarta de Perforación (emplear bajas velocidades) y el WOB cuando se presente estancamientos repetidos del Motor.
- Cuando se produce Estancamientos repetidos del Motor a causa de Excesiva Velocidad de Rotación de la Sarta mientras se perfora, analizar los efectos de la Rotación de la Sarta de Perforación y las Cargas Mecánicas
- Si el Motor se ha usado anteriormente, se debe considerar el desempeño durante las corridas anteriores, y las condiciones y horas esperadas en la siguiente corrida planeada.
- En un estancamiento de motor, inmediatamente parar el bombeo del fluido y la rotación de la Sarta, y sacar a la Broca del fondo del pozo. Variar los parámetros y regresar al fondo suavemente. Si el Estancamiento continúa, repetir el levantamiento del fondo y la variación de los parámetros. (Si no hay progreso reemplazar el Motor.)

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ❖ ASME Drilling Technology. (1995). Mud Motor Stator Temperature Analysis Technique. Majid: ASME Drilling Technology.
- ❖ Baker Hughes INTEQ. (1998). Fluidos Manual de Ingeniería. Houston: Technical Communications Group.
- ❖ Burgert, D., Makranz, S., Sundermann, R., Downs, J., Benton, W., & Dick, M. (2000). The Evolution of Formate Brines in High – Temperature / High – Pressure Operations. New Orleans: Society Of Petroleum Engineers.
- ❖ Cabot Corporation. (2007). COMPATIBILIDADES E INTERACCIONES. SECCIÓN B7. COMPATIBILIDAD CON ELASTÓMEROS. EEUU: Cabot Corporation.
- ❖ D. L. HERTZ, J. (1979). MECHANICS OF ELASTOMERS AT HIGH TEMPERATURES. NEW JERSEY: SEALS EASTERN, INC. RED BANK.
- ❖ Hirschfeldt, M. (2008). Manual de Bombeo de Cavidades Progresivas.M Argentina: OilProduction Consulting & Training.
- ❖ HYDRILL. (1994). Zinc Bromide Brines Can Attack Nitrile Elatomers. USA: HYDRILL.
- ❖ M. Moralesa, F. G. (2003). SELECCIÓN DE ACEROS PARA RODAMIENTOS DE MOTORES DE FONDO A PARTIR DE ENSAYOS DE FRETTEING Y ANÁLISIS METALOGRAFICO. JORNADAS SAM/ CONAMET/ SIMPOSIO (pág. 1). Argentina: VP. I&T San Antonio.
- ❖ Perforacion de Pozos de Petroleo III - Herramientas de Deflexcion – Ing. Carlos Ramirez Castañeda.
- ❖ R&M ENERGY SYSTEMS. (2004). Technical Bulletin - UF114 Fit considerations Texas: R&M ENERGY SYSTEMS